В. В. МАЦКЕВИЧ

# ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ АНАТОМИЯ РОБОТОВ

В. В. МАЦКЕВИЧ

# ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ АНАТОМИЯ РОБОТОВ

Москва "Советское радио" 1980

ББК 32.816
М11

УДК 681-3
Мацкевич В. В. **Занимательная анатомия роботов.** — М.: Сов. радио, 1980. — 160 с., ил.

В занимательной и доступной форме автор рассказывает об исследованиях и разработках важнейших систем современных роботов: зрения, речи, слуха, о моделировании нейронов и нервных сетей, систем памяти и о возможностях моделирования искусственного разума. Показано, как можно самим сделать ту или иную систему робота. Описываются новые доступные юным техникам методы моделирования и исследований радиоэлектронных систем. Все это иллюстрируется большим количеством практических схем и примерами любительских конструкций роботов.

Книга может быть полезна юным техникам, преподавателям школ, руководителям кружков, а также всем любителям радиоэлектроники и энтузиастам роботостроения.

Табл. 6, рис. 137, библ. 22 назв.

**Редакция кибернетической литературы**

М $\frac{30501\text{-}030}{046(01)\text{-}80}$ 32-80 1502000000

© Издательство «Советское радио». 1980 г.

# ПРЕДИСЛОВИЕ

Развитие нашего социалистического государства в последние годы проходит под знаменем максимального использования достижений науки и техники. Научно-техническая революция и социальный прогресс ощущаются в повседневной жизни миллионов советских людей. Постоянно совершенствуются техника и производство.

В. И. Ленин говорил: «Нужно всюду больше вводить машин, переходить к применению машинной техники возможно шире» *).

Сбываются мечты великого вождя трудящихся. С каждым годом все больше становится у нас различных машин, все новые и все более сложные обязанности возлагаем мы на этих чудесных помощников. И чем больше машин окружает нас, чем разумнее и совершеннее они становятся, тем сильнее наша власть над природой, тем богаче и многообразнее наша жизнь.

Разумные машины — роботы, недавно перекочевавшие из области фантастики в реальность, быстро проникают во все сферы повседневной деятельности: транспорт, сельское хозяйство, медицину, многие области науки. Большинство роботов сосредоточено в промышленности, где люди нуждаются в механических помощниках на тяжелых, монотонных, утомительных работах, там, где требуются большие затраты физического труда и, наконец, где физические возможности человека препятствуют росту качества продукции. Приходится признаться, что современные роботы или, как их чаще называют, автоматические манипуляторы многое делают лучше и точнее человека. Именно поэтому одной из важнейших задач развития современного производства в десятой пятилетке является организация серийного производства автоматических манипуляторов с программным управлением, позволяющих механизировать и автоматизировать тяжелые физические и монотонные работы, а затем приступить к промышленному производству приборов и устройств программного управления для автоматических манипуляторов.

К встрече с роботами нужно готовиться, нужно уметь ими пользоваться. Роботы перешли из фантастики в реальность, но очень часто в них воплощаются новые, казалось бы невероятные, идеи. И естественно, что, имея дело с такими машинами, мы не можем не интересоваться ими: ведь роботостроение таит в себе так много увлекательного!

Пытливый ум ищет ответы на десятки вопросов при встрече с любой машиной, будь то простые часы-ходики, домашний пылесос или мощная ракета. Роботы вызывают особый интерес. Как они

*) В. И. Ленин. Собр. соч., т. 42, с. 153.

устроены? Как работают? Действительно ли они способны заменять человека? Можно ли своими руками построить робота или хотя бы его модель? Последний вопрос особенно волнует юных любителей техники, пытливых и любознательных энтузиастов, тех, кто сам с увлечением изобретает, конструирует, строит. Многие мечтают создать своего, пусть даже простого робота — электронного манипулятора или модель станка с программным управлением.

Роботостроение развивается на серьезной научно-организационной базе. Роботы — новая и сложная техника.

Роботы, применяемые сейчас в промышленности, в основном не способны воспринимать внешний мир и действуют по жесткой (правда, легкосменяемой) программе. В самое ближайшее время трудовая «железная рать» будет исчисляться десятками тысяч. Нужно уметь организовать их! Вопрос сводится не к «внедрению» очередной новой машины. Ситуация гораздо серьезнее и сложнее. В будущем роботы, придя на предприятия, упростят и ускорят процесс автоматизации существующего, особенно мелкосерийного, производства, помогут решить ряд социальных проблем. Но с применения роботов на отдельных операциях надо переходить к созданию роботизированных технологических участков, а затем на их основе — комплексно автоматизированных цехов и, наконец, целых заводов. Это означает коренную перестройку основ современного производства, включая технологию, оборудование, организацию и управление. Собственно, именно эта потребность в комплексной автоматизации и явилась объективной причиной появления робототехники.

Наша книга предназначена для юных техников, увлекающихся роботостроением.

Кажется, где уж разобраться и справиться со всеми сложностями школьнику, не имеющему еще даже законченного среднего образования! Но чем раньше наши будущие конструкторы разумных машин овладеют азбукой роботостроения на самых простейших моделях, тем больше они сделают в будущем. Жизнь показывает, что создание многих элементов роботов и моделей, основанных на них, вполне доступно школьникам.

Немало юных энтузиастов в разных концах нашей страны уже занимаются этим интересным делом. Помочь им — задача нашей книги. Эта книга не популярный рассказ о «разумных машинах». Лишь в первой главе очень кратко рассказывается о применении роботов. Подробнее о том, что такое роботы, как и где они используются, можно узнать из других книг о «разумных машинах», их написано немало и некоторые из них указаны в списке литературы.

В нашей книге приводятся описания ряда простых самодельных роботов, изготовить которые можно в технических кружках или дома. Не имея таких описаний, юные техники конструируют роботов наугад. Это часто приводит к неудачам и огорчениям.

Мы надеемся, что книга, созданная на опыте конструирования многих моделей роботов, окажется полезной для школьников, увлекающихся роботостроением. С интересом прочтут ее и их наставники — руководители детских технических кружков.

# РОБОТЫ НАСТУПАЮТ

## Роботы — разумные машины

Роботов называют разумными машинами. Робот — это автомат, выполняющий сложные операции, имитирующие человеческие действия. Росс Эшби, известный биолог и кибернетик, как-то заявил: «Нечего спрашивать о возможностях создания разумных машин. Инженеры и конструкторы создают их уже сейчас!». И, в самом деле, пока ученые и писатели ведут дискуссию о роботах, наиболее одержимые делают их.

Роботов с увлечением конструируют и в школьных технических кружках, и в серьезных научных организациях.

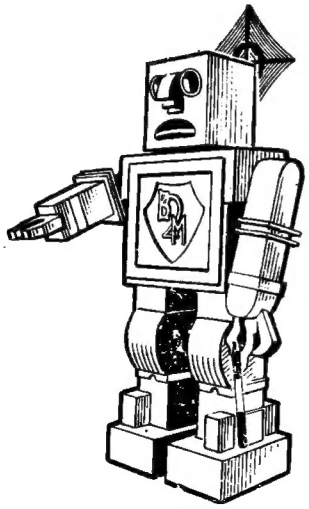
Идея создания искусственных человекоподобных существ привлекала людей с давних пор. Вспомним хотя бы античный миф о Пигмалионе, изваявшем статую и оживившем ее, средневековые мечты о гомункулусе — искусственном человеке или чешские сказания о глиняном великане Големе.

Не удивительно, что механики древности неоднократно пытались воплотить мечты в реальность, построить механические человекоподобные автоматы — андро́иды. Слабый уровень техники компенсировался богатым воображением, хитроумным сплетением зубчатых колес, пружин и рычагов.

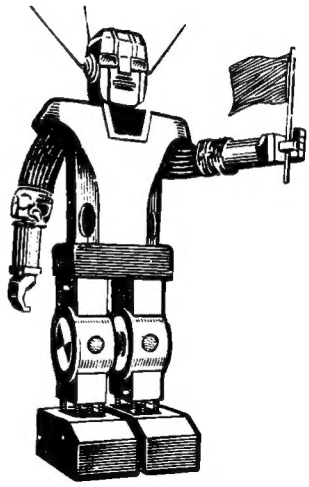
Весной 1774 г. швейцарский часовщик Пьер Дро и его сын Анри показали изумленным согражданам сделанного ими механического писца. Писец был как живой. Он с важным видом макал гусиное перо в стоящую перед ним чернильницу и ровным красивым почерком писал целые фразы. При этом он двигал головой и любовно оглядывал написанное. Закончив свой нелегкий труд, писец посыпал бумагу песком, а затем стряхивал ее. Эффект был огромным.

Кроме писца, талантливые мастера сделали механического рисовальщика, с самым естественным видом воспроизводящего довольно сложные рисунки, и музыкантшу, великолепно исполнявшую на фисгармонии сложные музыкальные произведения. Это были поистине шедевры своего времени. Однако неприятностей от создания первых роботов было больше, чем славы. Все непонятное опасно, — решила святая инквизиция, и на всякий случай упрятала Анри Дро в тюрьму, когда он показывал своих механических людей в Мадриде. Отец и сын Дро вскоре умерли, а их творения переходили из рук в руки. Лишь в 1906 г. они были приведены в порядок и помещены в швейцарский музей, где до сих пор вызывают восторг посетителей.

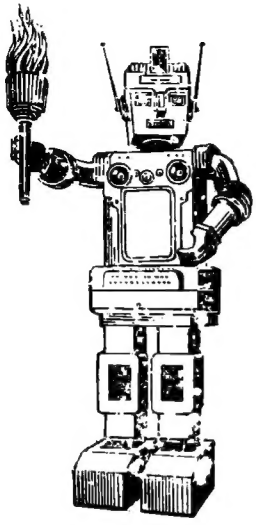
В 1810 г. немецкий механик Иоганн Кауфман построил механического трубача, виртуозно исполнявшего несколько сложных пьес



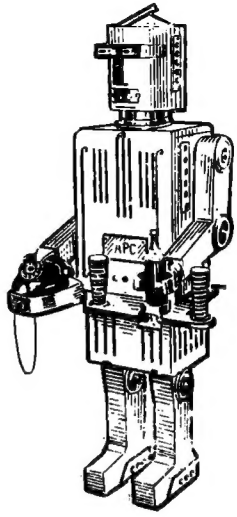
Р и с. 1. Первый советский робот



Р и с. 2. Робот Чкаловской СЮТ



Р и с. 3. Кибернетический робот-гигант



Р и с. 4. Робот-секретарь

на трубе. Этот автомат сейчас можно увидеть в Мюнхенском музее техники.

На этом увлечение андроидами, пожалуй, и закончилось. Возможности механики как таковой были исчерпаны. Лучшие конструкции, созданные в средние века, позднее просто повторялись в разных вариантах. Лишь в XX веке крупные достижения электроники, физики и электротехники позволили вновь приступить к конструированию человекоподобных автоматов, но на более высоком уровне. С легкой руки Карела Чапека их стали называть роботами. В отличие от андроидов роботы обладают обратной связью, более гибки в действиях и более чувствительны к изменению внешней обстановки. У них появилось зрение — фотоэлементы, слух — микрофоны, речь — громкоговорители.

Советские строители роботов создали довольно много очень интересных моделей, которые получили высокие оценки. Один из первых советских роботов демонстрировался на Всемирной выставке в Париже в 1937 г. (рис. 1).

В 1960 г. огромным успехом пользовался выставленный на ВДНХ робот, сконструированный ребятами на Чкаловской станции юных техников (СЮТ) Московской области (он выполнял 18 команд) (рис. 2).

Там же, на Чкаловской СЮТ, в 1969 г. создали кибернетического робота-гиганта, успешно экспонированного на Всемирной выставке ЭКСПО-70 в Японии (рис. 3).

Робот-секретарь из Калуги (рис. 4) по заданной программе включает и выключает освещение, поддерживает постоянную температуру в квартире. В указанное время он включает приемник или телевизор. Утром будит хозяина, включая магнитофон с записью текста утренней гимнастики. Когда хозяина нет дома, сообщает об этом по телефону, а если требуется, то записывает телефонную просьбу на магнитофон.

Широкую известность получили робот «Сепулька», «работающий» экскурсоводом в Политехническом музее в Москве, и его «коллега» с ВДНХ — «Сибиряк-2». Целую семью роботов построили калининградцы.

Так что, если вы задумали строить робота, то есть у кого поучиться.

О схемах этих роботов и конструкциях многих других любительских моделей речь пойдет впереди.

Все это — занимательные модели, пока не имеющие широкого применения. Роботов делали в разных местах, разные конструкторы, но все они внешне сходны с человеком.

Такие машины не прихоть. Ведь мы, люди, создали вокруг себя целый мир, приспособленный к нашей собственной природной конструкции. Мебель в доме, лестницы, двери, инструменты и станки в цехе, автомобили, измерительные приборы, различные индикаторы и ручки управления — все сделано так, чтобы было удобно пользоваться человеку. Машина, которая сможет постоянно действовать рядом с нами и использовать рассчитанные на нас вещи

и механизмы, должна походить на человека — это экономно. Человекообразную форму современных роботов можно пока считать преждевременной, но когда-нибудь она станет закономерной вследствие совершенствования самих роботов. А менее сложные роботы, возможно, окажутся похожими на более простых живых существ (пауков, гусениц и др.).

Следовательно, человекоподобный робот далеко не фантастика, а реальность. Ценнейшее свойство роботов — способность их выполнять определенные задания лучше, быстрее и точнее человека. Более того, в противоположность людям и животным роботам не свойственны рассеянность и физическая усталость. Без помощников-роботов управлять современной техникой стало трудно. Вот почему роботы все чаще используются на производстве, в космосе, почти во всех областях человеческой деятельности.

Разработка роботов в Советском Союзе и в социалистических странах преследует гуманные цели — освобождение человека от монотонного и изнурительного труда для творческой деятельности. В наши дни трудящиеся стали особенно требовательны к самой работе и ее смыслу. А когда процесс производства автоматизируется, от рабочего перестают требовать мастерства. Вот здесь-то и нужны роботы. Они должны с «умом» выполнять неквалифицированные производственные операции. На подобных ручных и вспомогательных работах занято очень много людей. Передать эти операции «разумным» машинам — значит привести в действие огромные резервы повышения производительности труда.

Кроме того, как показала жизнь, автоматические цехи и заводы, оснащенные «жесткими автоматами», т. е. такими, которые могут выполнять лишь несколько вполне определенных операций, трудно приспособить к быстрому изменению технологии, использованию другого сырья, выпуску новой продукции. Для этого часто необходима коренная перестройка автоматических линий. Здесь также нужны адаптирующиеся, т. е. приспосабливающиеся к изменяющимся условиям, автоматы — роботы.

Главная особенность роботов завтрашнего дня будет заключаться в том, что в их памяти обязательно должна будет содержаться модель внешнего мира, сформированная человеком либо образованная искусственным интеллектом в результате самостоятельного накопления сведений о реальной внешней среде. Это позволит роботу действовать не только по жесткой программе, заложенной в его память, но также по методу проб и ошибок.

Роботам предстоит пройти огромный путь развития. Действующие сегодня модели роботов первого поколения могут выполнять задания человека лишь в особо приспособленных для них неизменных условиях, что существенно сужает область их применения. Однако второе поколение механических работников, снабженных техническими органами «чувств» и более совершенным «мозгом», в состоянии приспосабливаться к изменениям окружающей среды и, следовательно, действовать более «разумно», осваивать значительно более сложные специальности. Целый ряд опытно-промыш-

ленных образцов таких роботов уже создан мировым роботостроением. Советские специалисты также имеют почти десятилетний опыт их конструирования.

На научном горизонте уже показались искусственные создания третьего поколения — так называемые «интеллектуальные» роботы. Они ушли намного дальше своих предшественников прежде всего в обработке информации и по возможностям автономного, без помощи человека, целенаправленного поведения в меняющейся обстановке. Пока такие «интеллектуальные» роботы существуют у нас и в других странах только в виде математических и лабораторных моделей, обладающих, как осторожно говорят, «элементами искусственного интеллекта».

Однако, хотя действующие роботы — очень примитивное подобие человека, возможности их безграничны. И недаром в целевой программе Государственного комитета по науке, по которой ведется создание промышленных роботов в СССР, наряду с созданием комплексно роботизированных участков и цехов предусматривается разработка таких вопросов, как взаимодействие роботов друг с другом, экономические, социальные и философские проблемы, связанные со взаимоотношениями людей и кибернетических помощников.

Но все это проблемы будущего. Сегодня наука и техника ищут возможности освободить человека от всех видов именно неинтеллектуального, неинтересного и тяжелого физического труда. Без массового применения промышленных роботов их решить невозможно.

От появления первых роботов-игрушек до совершенных роботов первого, второго и третьего поколений роботов — помощников человека прошло более двухсот лет! Как же шло развитие разумных машин и каково их состояние в наши дни?

Роботы первого поколения, созданные в XVIII веке, представляли собой замечательные произведения искусства талантливых мастеров, они и сейчас остаются выдающимися произведениями механики. Все они, однако, имитируют лишь внешнее сходство с человеком. Но уже в XIX веке автоматы, внешне не похожие на человека, стали выполнять сложную работу людей и освободили их от многих разнообразных операций. Затем в различных отраслях промышленности стали появляться циклические автоматы в виде станков-автоматов.

В настоящее время существует множество разнообразнейших станков-автоматов, например: токарные, фрезерные, копировальные, шлифовальные, зуборезные, гайконарезные, болтонарезные, шурупные, гвоздильные, литейные, формовочные, сварочные, спичечные, обувные, печатные, переплетные, бутылочные, развесочные, упаковочные.

Нет, пожалуй, такой отрасли производства, где не применялись бы автоматы. Каждый такой станок выполняет без помощи человека сложный цикл различных операций, необходимых для изготовления определенного изделия.

Автоматы обладают одним общим свойством — они «запоминают» определенную последовательность сложных движений (операций) и после запуска многократно повторяют эту последовательность. «Запоминание» заданной последовательности движений, составляющей цикл автомата, осуществляется с помощью кулачков и шаблонов.

Характерной чертой автоматов, общей для них и для автоматов-игрушек, является наличие определенной фиксированной и наперед заданной программы действий, программы выполнения цикла. Каждая элементарная операция, выполняемая подобным автоматом, имеет вполне определенное место в цикле, длится строго определенное время и всегда выполняется совершенно идентично (с точностью до ошибок изготовления самого автомата).

Несмотря на примитивность подобных автоматов, они очень широко распространены. Такие автоматы полностью утратили сходство с человеком и поэтому их не всегда относят к роботам, хотя в принципе это роботы.

В качестве примера циклического станка-автомата на рис. 5 показан обрабатывающий центр японской фирмы «Мицуи Сэйки».

Обрабатывающий центр «Мицуи Сэйки» имеет магазин *1* барабанного типа на 32 инструмента. Автоматическая смена инструмента осуществляется с помощью подвижной тележки *2* с двумя манипуляторами. Для этого магазин поворачивается так, чтобы нужный инструмент оказался в верхней точке. Левый манипулятор опускается, захватывает его и, пока тележка движется к шпинделю станка *3*, подтягивается вверх. Аналогичные операции проделывает и правый манипулятор, чтобы извлечь из шпинделя инструмент, выполнивший свою задачу. Теперь левая «рука» опускается вниз, головка шпинделя подается вперед, захватывает хвостовик инструмента, и станок готов продолжить обработку детали.

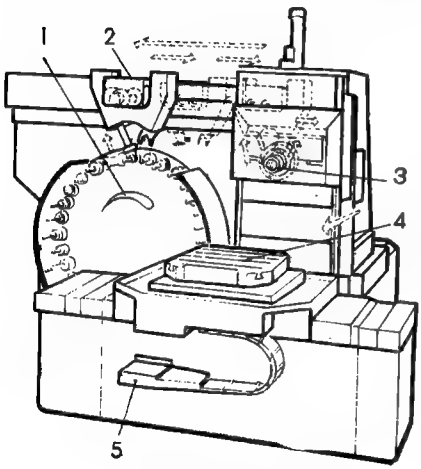


Рис. 5. Обрабатывающий центр

Чтобы деталь можно было обрабатывать со всех четырех сторон, станок оснащен поворотным столом *4*. А точность ее перемещений контролирует следящая электроиндукционная система *5*. Основные элементы этой системы — вытянувшиеся по всем трем осям плоские индукционные катушки. Двигающийся рабочий стол наводит в них электрический ток, по которому точно определяется положение детали.

Однако циклические станки-автоматы не удовлетворяют все возрастающим требовани-

ям современного производства — резкого сокращения применения рабочей силы или замены рабочих на однообразных операциях. Они занимают большие производственные площади и не обеспечивают требуемых темпов роста производительности труда. На смену им пришли автоматические линии.

Электронные вычислительные машины произвели революцию не только в сфере расчетов и математического моделирования. Они подготовили почву для широкого внедрения автоматизированных систем организационного управления (АСУ) предприятиями, промышленными комплексами и даже целыми отраслями народного хозяйства. Пронизывая всю экономику нитями вертикальных связей, АСУ открыли пути для решения задач управления, планирования и учета на качественно новом уровне. Однако для того чтобы получить максимальный эффект, и саму сферу производства следует поднять на более высокую ступень развития. А это означает, что уже сегодня необходимо думать о создании технических средств нового типа, позволяющих полностью автоматизировать процессы во всех отраслях промышленности.

Задача эта далеко не так проста, как может показаться на первый взгляд. Идея автоматизации наглядно доказала свою плодотворность на примере непрерывных технологий, которые широко применяются в химии, металлургии, нефтепереработке. Но в машиностроении, радиоэлектронике, приборостроении и других отраслях, где основную роль играют прерывистые процессы, дело обстоит намного сложнее.

Приведем пример из области машиностроения. Прежде чем деталь займет место в конструкции машины, она должна пройти по длинной цепочке различных станков. Каждая смена оборудования — это разрыв в технологии, неизбежные потери времени и сил: деталь надо не только передать от станка к станку, а на каждом из них ее следует установить в заданном положении, а инструмент точно расположить по отношению к обрабатываемой поверхности. Поэтому значительную часть своих усилий рабочий тратит на малопроизводительные вспомогательные операции.

Конечно, подобные потери особенно велики на предприятиях с мелкосерийным производством. А при массовом выпуске продукции их удается намного сократить благодаря станкам-автоматам и автоматическим линиям. Но, к сожалению, требования сегодняшнего дня заставляют пересмотреть наши взгляды и на эти устройства. Одно из главных условий технического прогресса состоит не только в том, чтобы быстро осваивать выпуск новых машин, оборудования, приборов, необходимо постоянно совершенствовать и серийную продукцию. А для этого производство должно обладать максимальной гибкостью. У станков-автоматов и автоматических линий в противоречие с этим требованием вступает сам принцип действия, в основу которого положена жесткая, незыблемая схема технологии. Поэтому их переналадка на выпуск не только новой, но даже видоизмененной продукции связана с большими затратами времени и сил. Это не означает, что машины-автоматы исчерпали

свои возможности и им предстоит сойти со сцены. Просто они уже не в состоянии решать многие задачи производства на высоком уровне.

Что можно сделать для того, чтобы наделить дискретные технологические процессы желаемой гибкостью.

Многообещающие перспективы в решении этой проблемы открыли станки с числовым программным управлением (ЧПУ). Жесткий копир — программное устройство станков-автоматов — здесь уступил место ленте с перфорационной или магнитной записью программы. Достаточно ее сменить — и станок готов к обработке нового изделия. Идея такого управления доказала свои преимущества не только на примере простых металлорежущих станков, но и на многооперационных агрегатах, на прессах и штампах.

Однако опыт прошедших лет показал, что даже в тех случаях, когда станки с ЧПУ применяются большими группами «под эгидой» общей ЭВМ, получаемый экономический эффект далек от максимального. И виной тому все те же большие затраты времени и сил на передачу изделий от станка к станку. Как избежать этих потерь?

Перспективным кажется такое решение: достаточно большая группа станков с ЧПУ объединяется в единую систему с помощью гибкой сети транспортных средств. Причем эти средства передают детали от станка к станку и устанавливают в нужном положении без участия человека. А весь комплекс оборудования управляется по единой программе, которую задает общая ЭВМ. Управляемые по программе роботы-загрузчики захватывают детали «механическими руками» и доставляют их к станкам. Они же возвращают детали в накопитель после выполнения очередной операции. По сравнению с обычным станочным парком даже небольшие автоматизированные комплексы позволяют сократить численность обслуживающего персонала на 70%, вдвое уменьшить производственные площади и повысить производительность труда на 300%

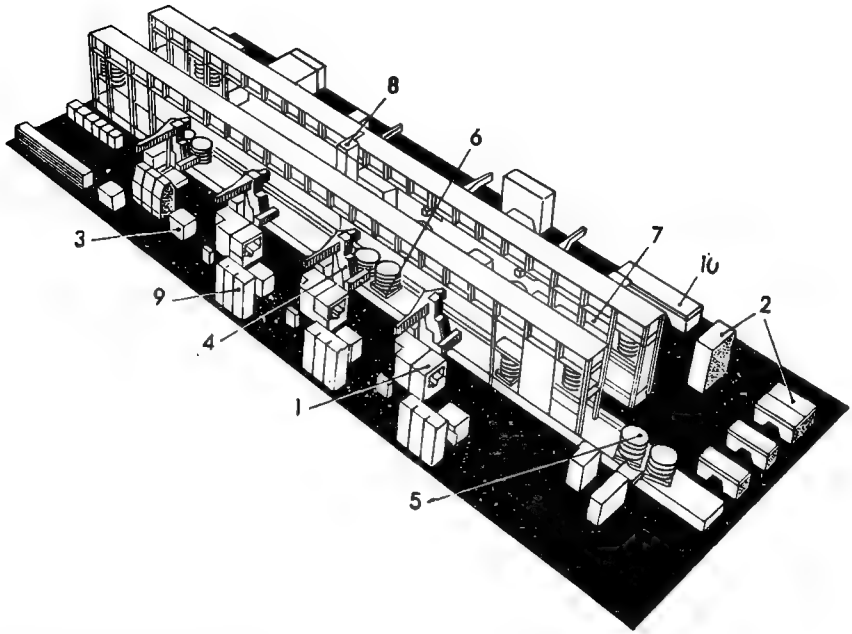
Весьма широкими оказались производственные возможности технологической системы ROTA-FS-200 (рис. 6), созданной на станкостроительном комбинате имени 7 октября в Берлине. В ней магазин-накопитель выполнен в виде двух стеллажей, между которыми движется робот-загрузчик.

Подобно агрегатам в автоматической линии все восемь станков (*1*) здесь действуют согласованно, подчиняясь командам вычислительного центра (*2*). Чтобы станки могли работать в автоматическом режиме, каждый из них оснащен блоком управления *(3)* и роботом-загрузчиком (*4*). Последний подает заготовки из промежуточных магазинов (*5*) и возвращает в них обработанные детали, сменяет инструмент и элементы оснастки. Промежуточные магазины (*5*) приводятся в действие с помощью устройств с подъемным механизмом *(6)*. Одновременно эти магазины играют роль своеобразных контейнеров, в которых детали и инструмент циркулируют по транспортной сети системы. А «узловой станцией» сети служит центральный накопитель (*7*) в виде двух стеллажей, между которыми движется штабелер-погрузчик (*8*). Все электрооборудо-

вание смонтировано в шкафах (*9*). А контроль за работой системы ведется с центрального пульта управления *(10)*.

По такой схеме работают автоматические линии сборки корпусов автомобилей. В начале операции сварки корпусов автомобилей рабочие укрепляют их на конвейере, который перемещает корпус автомашины к линии, состоящей из 14 роботов (по 7 с каждой стороны), выполняющих точечную сварку. Корпус автомашины перемещается от одного сварочного поста к другому. В это время роботы поочередно подводят сварочные пистолеты к корпусу автомашины и производят сварку. Поскольку кинематическая система «руки» робота имеет много степеней подвижности, робот может передвигать сварочный пистолет, следуя сложным изгибам корпуса автомобиля. За один час роботы сваривают по 57 корпусов. Хотя роботы очень сходны со специализированными автоматическими линиями, они обладают большими преимуществами при монтаже и наладке сборочной линии. Кроме того, в линию, оснащенную роботами, значительно легче вносить коррективы при изменении конструкций изготовляемого оборудования.

Подобные манипуляторы с программным управлением, называемые промышленными роботами, уже несколько лет выпускаются серийно. Эти манипуляторы имеют запоминающее устройство, в которое можно заложить программы совершения тех или иных двигательных операций. Программирование движений манипулятора




Р и с. 6. Система ROTA-FS-200

обычно заключается в выполнении им под руководством оператора требуемой работы, состоящей из последовательных перемещений «руки» робота в пространстве. После записи конечного положения в запоминающее устройство робот может повторять эту работу автоматически, причем в конечное положение он будет приходить кратчайшим путем, независимо от пути, пройденного им при записи программы.

Наиболее крупными фирмами, поставляющими промышленные роботы-манипуляторы, в США являются «Юнимэйшн» и АМФ. Созданный ими робот «Юнимэйт» — однорукий гидропневматический манипулятор. Его масса 1590 кг, радиус действия 2,3 м, максимальная масса переносимого груза 34 кг. Детали массой до 11,3 кг он переносит с максимальной скоростью, поворачиваясь на 220° за 2 с. Запоминающее устройство и рука входят в один блок. Рука повторяет свои положения с точностью до 1,27 мм. Память системы обеспечивает запоминание до 200 различных движений.

У робота «Версатран» исполнительные механизмы (массой 590 кг) расположены отдельно от блока управления (массой 136 кг). Он имеет две руки, радиус действия у него в два раза меньше, чем у робота «Юнимэйт», полезная нагрузка 9,1 кг, погрешность воспроизведения положения 3,17 мм. В «Юнимэйте» программа записывается на специально разработанный магнитный барабан, в «Версатране» — на магнитную ленту.

«Юнимэйт» и «Версатран» наиболее широко применяются в тяжелой промышленности (ковка, литье в кокели, прессование пластмасс, окраска, загрузка печей). Около половины автоматов используются в металлообрабатывающей промышленности.

Стоимость одного промышленного робота 18 — 25 тыс. долл. По мнению специалистов, тем заводам, которые работают более чем в одну смену, автоматы, несомненно, выгодны. При работе в две смены автомат окупит себя за год, при работе в одну смену — за 2,5 года.

Большим недостатком существующих промышленных роботов является отсутствие устройств сбора информации о среде, в которой они функционируют. Это чрезвычайно ограничивает сферу их применения, так как они лишены возможности приспосабливаться к внешней среде и перестают выполнять свои функции даже при незначительных ее изменениях. Поэтому в настоящее время исследования направлены на то, чтобы создать роботы, способные самостоятельно взаимодействовать с реальной внешней средой.

Сейчас роботы — машины с руками — уже не научная фантастика, а рабочие устройства, применяемые постоянно и повсеместно. Им на смену идут интегральные роботы — очень сложные конструкции, управляемые с помощью электронных вычислительных машин.

Представьте себе, что вы находитесь в одном из цехов завода турбинных лопаток. Перед вами нагревательная печь, загруженная деталями. Детали уже нагрелись до нужной температуры (1000° и более). Рабочий вынимает их из печи и опускает в ванну с маслом. Жара, дым. Работа утомительная и однообразная. Так почему бы

не создать автомат, который заменит рабочего у печи и масляной ванны? Сделать такой автомат нелегко. Дело в том, что элементарнейшее действие — взять какой-либо предмет и переложить его на другое место — довольно сложный процесс. Надо, чтобы автомат, во-первых, увидел и опознал деталь, во-вторых, определил, где и как удобнее всего ее взять, в-третьих, подвел точно к этому месту свою руку, затем ощутил соприкосновение с деталью и только после того сжал клешню. Далее идут тоже весьма трудные задачи: осторожно вынуть деталь из печи, не задеть по пути другое оборудование и препятствия, аккуратно опустить груз в масляную ванну. Традиционному автомату все это не под силу. Здесь нужен «думающий» автомат-манипулятор, управляемый ЭВМ.

Дело не только в том, что любой механизм, предназначенный заменить руку человека, нуждается по крайней мере в шести степенях свободы, чтобы обеспечить как поступательное, так и вращательное движение переносимого предмета (рис. 7).

Эволюция превратила человеческую руку в тончайший, непревзойденный инструмент. Ее пальцы, по желанию медлительные или быстрые, способны к самым тонким дифференцированным движениям, а если надо, проявляют и достаточную силу. Сорок две мышцы дают кисти чудесную подвижность и ловкость. Но главная трудность — узнать предмет. Над этой задачей — научить ЭВМ распознавать образы — многие годы бьются ученые мира. Лишь недавно удалось разработать методы, пользуясь которыми электронные устройства смогли, допуская не слишком много ошибок, отличать куб от пирамиды или от шара. Понятно, что такие машины должны обладать зрением (например, телевизионной камерой), большим объемом памяти, обширными «мыслительными» способностями.

Представьте себе, что вместо рабочего у печи стоит робот — механическая рука. В управляющей вычислительной машине заложена программа его действий. Нужно только отдать команду приступить к работе... (рис. 8).

Робот зашевелился, протянул клешню в печное отверстие, нащупал раскаленную деталь, взял ее точно посередине, осторожно вынул, перенес, минуя окружающие предметы, к ванне и опустил в масло. Вернулся за второй деталью, потом за третьей, четвертой... И так без устали, без передышки. Его не смутит, если в печи он обнаружит детали другой конфигурации, другой массы (для обычного, механического автомата это неразрешимая проблема): сведения о возможных изменениях условий труда заложены в памяти робота, т. е. в ЭВМ, и он гибко меняет свое поведение, переходит от одного вида работы к другому.

Для этого у него есть все возможности. В его клешне расположены фотоглаза, которыми робот «видит» деталь и на расстоянии и в непосредственной близости (рис. 9). Рабочие поверхности клешни-схвата имеют органы осязания — тактильные датчики. Суставы «чувствуют» и углы поворота различных элементов руки (а всего она имеет семь степеней свободы) и усилия, которые приходится прилагать гидравлическим мускулам во время работы. Чтобы стало

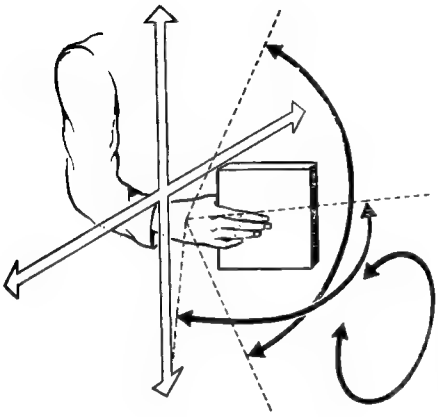


Рис. 7. Степени свободы руки человека

Рис. 8. Автомат для поверхностной закалки деталей:

*1* — механическая рука с вычислительным устройством (штриховой линией показана связь со всем оборудованием); *2* — конвейер; *3* — фотоэлектрическая линейка; *4* — индукционная печь; *5* — масляная ванна; *6* — конвейер готовой продукции

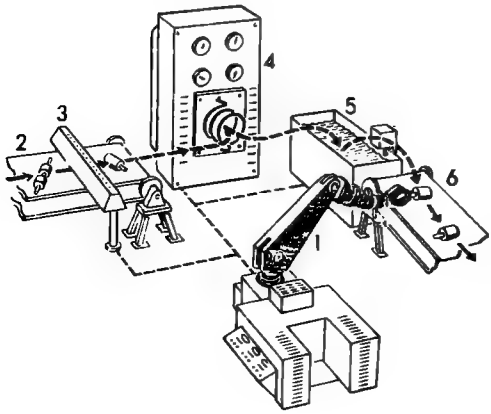
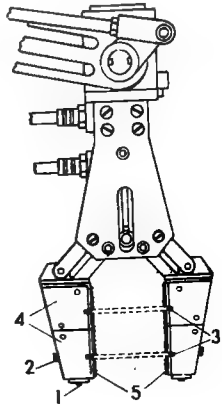



Рис. 9. Механическая рука робота:

*1—3* — фотодатчики обнаружения объекта; *4* — чувствительный кожух (тактильные датчики); *5* — датчики силы сжатия

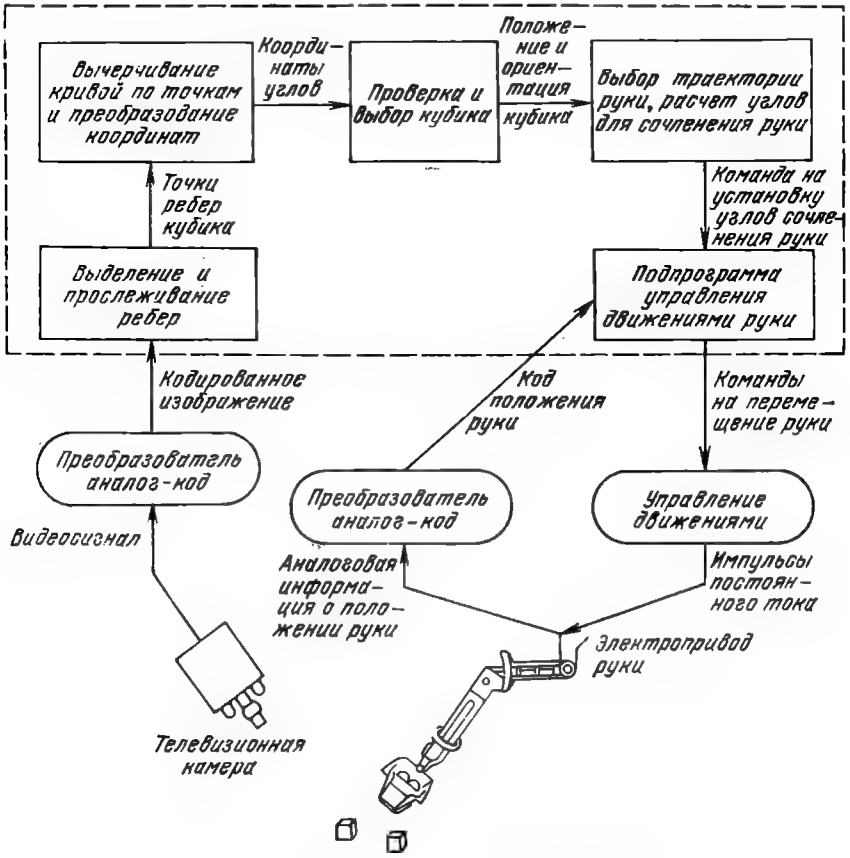



ясно, сколь сложна и чувствительна эта механическая рука, достаточно сказать, что в ЭВМ с нее должны непрерывно поступать и перерабатываться сигналы от 80 разнообразных датчиков. Но и такого потока информации оказывается мало для надежной и безупречной работы. Сейчас ученые и конструкторы хотят одеть металлическую руку особой «кожей», которая, как и человеческая, будет информировать «мозг» о соприкосновении ее с предметами. Это необходимо для безопасности и самого робота и всего того, что находится вокруг, — людей, оборудования, конструкций.

Несмотря на всю сложность, интегральные роботы пока еще способны решать только очень простые задачи, но они развиваются и уже используются на заводах. На рис. 10 приведена схема интегрального робота, занимающегося построением «домиков» из кубиков под зрительным контролем. На схеме показана телевизионная камера, наблюдающая за работой руки (глаз системы), механическая рука — манипулятор и электронное вычислительное устройство, управляющее рукой на основе анализа телевизионных сигналов и

информации о положении руки. Эта казалось бы очень простая задача требует создания сложнейших программ работы ЭВМ и огромного объема предварительных исследований на основе самых современных математических методов. Современные системы интегральных роботов способны воспринимать достаточно сложные ситуации в трехмерном пространстве, вырабатывать планы решения поставленных им задач, осуществлять зрительный контроль за их выполнением и взаимодействовать с человеком на естественном языке.

Робот, обладающий «разумом» или по крайней мере совершающий разумные поступки, все еще остается в области фантастики. Но некоторые из возможных «предков» подобных автоматов уже действуют в лабораториях искусственного разума. В Массачусетском технологическом институте компьютер, снабженный «глазом» — телевизионной камерой и искусственной гибкой «рукой», способен различать кубики различной формы, размеров и цвета, и собирать их в разных комбинациях без специального предварительь-




Р и с. 10. Схема интегрального робота

ного инструктажа. Ведутся исследования, где связанная с ЭВМ «рука» с помощью «глаза» способна собрать водяной насос из рассыпанных в беспорядке частей. Ученые стремятся создать систему «рука — глаз», которая могла бы различать и снимать с движущегося транспортера необходимые детали. Но даже для овладения такими элементарными навыками требуется «работа мысли» мощных ЭВМ, и исследователи еще весьма далеки от создания автономных роботов. Большинство ученых идут по пути эвристического метода решения проблем, т. е. решения задач методом проб и ошибок. При этом вычислительная машина вынуждена удерживать в своей памяти множество сведений и при решении какой-либо задачи отыскивать те из них, которые могут оказаться полезными.

В сущности машина не обладает какими-либо твердо усвоенными навыками выполнения той или иной операции. Если надо что-нибудь собрать, робот не вспоминает, что здесь нужна отвертка, а начинает «рассуждать». «Есть обстоятельства, когда следует пользоваться отвертками, а есть обстоятельства, когда лучше применять гаечные ключи...»

Немало преимуществ по сравнению с эвристическим методом имеет другой, так называемый адаптивный метод, при котором роботу не приходится принимать решение, просматривая все известные ему факты. Оператор не снабжает своего подопечного запоминающим устройством. Вместо этого он учит его решать вполне определенную проблему. Запрограммированная считать свои правильные действия «наградой», а неправильные — «наказанием», вычислительная машина наблюдает и учится. Когда она сталкивается с задачей, сходной, но не идентичной с предыдущей, то для ее решения адаптируют или приспосабливают полученные ранее навыки.

Президент фирмы, специализирующейся на производстве устройств, решающих задачи адаптивным методом, считает, что у подобной системы большое будущее, поскольку отпадает значительная часть сложного и долгого процесса программирования, без которого не обойтись при пользовании эвристическим методом. Адаптивный способ решения, говорит он, это программа логических рассуждений компьютера, который умеет строить модели, не обременяя ум сложностями процесса. Модель, создаваемая ЭВМ, — это изложенный математическим языком его план действий. В развитии адаптивного метода — путь к созданию робота с компактным и гибким «умом». Адаптивный метод является ключевым при решении задач, поставленных перед машиной. С его разработкой сделан важный шаг к созданию «думающего» робота вместо автомата, поведение которого полностью программируется заранее.

На пути к созданию машин, способных приспосабливаться к окружающей обстановке, имеется еще одно трудноопределимое препятствие — проблема создания искусственного зрения. Ни конструкторы, ни психологи, ни физиологи не знают, как подступиться к этой проблеме. Любое изображение — это миллионы единиц информации. Нужно каким-то образом свести их всего к нескольким ин-

формационным единицам. Научить ЭВМ распознавать самые разнообразные предметы — задача сегодня почти не разрешимая. Ведь обычная фотография распадается примерно на 25 млн. «информационных точек» и даже не столь четкое телевизионное изображение состоит не менее чем из 275 тыс. таких точек.

Работа над системами искусственного зрения будет продолжаться, но пройдут еще годы, прежде чем им удастся хотя бы приблизиться к элементарнейшим возможностям человеческого глаза. Тем временем будут совершенствоваться роботы, уже действующие в промышленности, в космосе, на дне океана, оперирующие с радиоактивными материалами. И, разумеется, машины будут продолжать «умнеть». Когда-нибудь автоматы возьмут на себя задачу совершенствования своих способностей, избавив от этой заботы людей. Не исключено, что искусственный разум настолько самоусовершенствуется, что выйдет даже из-под контроля человека.

На первый взгляд, глупо бить тревогу сейчас, когда до создания таких разумных машин еще очень далеко. Однако к этой проблеме надо подойти серьезно, чтобы не забыть об осторожности, когда приблизится опасный момент. Пока же они покорно выполняют задания в космосе, под водой, в быту, при испытаниях новой техники и во многих других случаях. Посмотрим, как это делается.

Будущее человечества тесно связано с космосом. Хотя усилия в деле освоения космоса, расширения сферы обитания человека предназначены главным образом для людей будущего, роботы для космических исследований приносят вполне осязаемую практическую пользу и в настоящее время. Развитие космонавтики создает предпосылки для новых научных открытий, для обнаружения новых явлений природы, так как научная аппаратура доставляется в ранее неисследованные области космического пространства, на Луну и планеты солнечной системы. Ценность таких открытий невозможно выразить в денежном исчислении, но они могут иметь огромное значение и влиять на судьбу всего человечества.

С развитием космонавтики появилось множество проектов космических роботов. Проекты тщательно разрабатывались, макетировались и исследовались. На рис. 11 изображен робот из этой серии, одна рука которого держит телевизионную камеру, а другая — снабжена схватом. Изменяя положение телекамеры по отношению к некоторому объекту, можно обеспечить всестороннее тщательное его изучение.

В яркой летописи полетов советских лунных роботов всемирно известным стало достижение автоматической станции «Луна-17» (1971 г.) (рис. 12) («Техника — молодежи», 1971, № 1, с. 10).

«Луна-17» стартовала с Земли, вышла на окололунную орбиту, совершила мягкую посадку в районе Моря изобилия, взяла образец лунного грунта и с изумительной точностью доставила его на нашу планету, приземлившись в 80 км юго-восточнее города Джезказган.

Впервые в истории освоения космоса были осуществлены автоматический старт ракеты с другого небесного тела солнечной систе-

мы и выведение автомата на трассу возвращения к Земле. Точное выведение позволило обеспечить перелет возвращаемого аппарата на Землю без коррекций, по баллистической траектории, попадание аппарата в расчетный коридор входа в атмосферу и его посадку в заданном районе территории Советского Союза с высокой точностью. Лунный грунт был благополучно доставлен на Землю.

Наверное, на выставках многие видели, как работает оператор с радиоактивными изотопами. Он не подвергается риску облучения, так как действует с помощью механических рук. Точно так же без риска для себя ученые действовали на Луне. Только здесь «руки» протянулись на 400 тыс. километров. Электрический бур по команде с Земли углубился в лунный грунт и, не нарушив его структуры, взял образец. Затем «рука» упаковала образец грунта в контейнер возвращаемого аппарата и загерметизировала его.

Как видите, все это довольно сложные операции. И это только начало пути активно работающих автоматов, способных возвращаться на Землю. Принципы, заложенные в действия «Луны-17», позволяют нам протянуть «руки» в космос на десятки и сотни миллионов километров и проводить автоматические исследования на дальних планетах.

Широко применяются роботы для подводных исследований. Нет необходимости обсуждать вопрос о важности исследования океана и о перспективах разработки морских ресурсов для человечества, которое через некоторое время исчерпает ограниченные ресурсы суши. Океан явится тогда огромным резервом полезных ископаемых и средств к существованию. Большой интерес, проявляемый к тектоническим процессам и исследованиям малых форм рельефа дна океана, стимулирует развитие новых технических средств сбора научных данных, наиболее перспективные из которых глубоководные роботы-манипуляторы. Сбор образцов пород, отбуривание кернов, взятие проб грунта — вот перечень первостепенных работ, которые могут быть выполнены роботами.

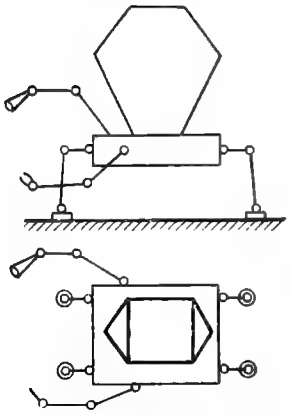


Рис. 11. Схема робота на шагающей платформе

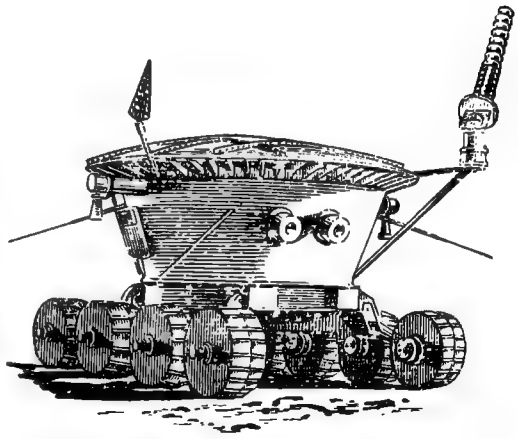


Рис. 12. Автоматическая станция «Луна-17»

Кроме космоса и подводных исследований роботы нужны и в сравнительно прозаических условиях, например в быту.

Несмотря на наличие различных устройств и приспособлений, облегчающих труд домашних хозяек, еще очень далеко до комплексной автоматизации их труда. И здесь применение роботов представляет особый интерес, так как с ростом материального благосостояния общества становится все более острой проблема домработниц и уборщиц. Известны разработки нескольких проектов домашних роботов с автоматическим управлением. У японских специалистов такой робот имеет вид змеи на ножках; так, оказывается, удобнее автоматизировать работу по уборке квартиры, мытье посуды. Английские роботы-хозяйки имеют человекоподобный вид. Разрабатываются роботы-сиделки для больных, роботы-няньки для детей.

При испытаниях новых машин — сверхзвуковых самолетов, автомобилей, ракет — человек подвергается опасности. Если на его место посадить робота, который по размерам, форме, массе и некоторым другим свойствам соответствует человеческому телу, а также выполняет некоторые несложные движения, то можно экспериментировать смелее, не ставя под угрозу человеческую жизнь

Фирма «Альдерсон» в США уже много лет выпускает роботов-испытателей. Такой робот состоит из стального скелета, покрытого чехлами из пластмассы, которые имитируют мягкие ткани человеческого тела. Рост робота 1 м 85 см, масса около 90 кг. На него надевают рабочий комбинезон и ботинки. В литом алюминиевом черепе помещается программное устройство — приборы радиоуправления и измерительные приборы, отмечающие величину нагрузок, которым подвергаются роботы.

Все, о чем мы говорили, похоже на фантастику, но это уже действительность. Фантасты же устремляются еще дальше. В подтверждение этого мы познакомимся с тремя идеями в области роботостроения. Подобных идей много, но мы выбрали три. Первая относится к роботам заводов завтрашнего дня. Специалисты в области промышленной кибернетики считают, что заводы завтрашнего дня будут строить не на механических, а на кибернетических принципах.

Как же будет выглядеть этот завод? Да почти так же, как в романах писателей-фантастов. Между станками заснуют механические существа-роботы. Вряд ли они будут выглядеть металлическими красавцами, напоминающими человека. Все будет гораздо проще: небольшая тележка на колесах с двумя или одним манипулятором. Сейчас бесполезно предполагать, сколько у нее будет «пальцев» — три или пять, покажет время и необходимость. Но одно можно сказать точно: тележка сможет двигаться во всех направлениях, во всех плоскостях.

Заводом-автоматом будет руководить АСУ — автоматизированная система управления. Она-то и станет следить за работой станков и деятельностью роботов. Она же будет распоряжаться, когда линиям или отдельным станкам следует переходить на выпуск но-

вой продукции. Эта же вычислительная машина составит программы для всех станков и роботов.

Таким образом, основными «производителями» станут станки с программным управлением и роботы. Но это, так сказать, нижняя часть предприятия.

Одно из основных звеньев верхнего, управленческого, ряда — автоматизированная система проектирования. По-видимому, до конца нашего века машинам все же не удастся полностью отстранить человека от проектирования. Но это и не так уж важно для завода-автомата. Ведь несколько специалистов — десять-пятнадцать — все-таки останутся на таких предприятиях. Возможно, проектирование станет чуть ли не единственным участком, где они будут заняты.

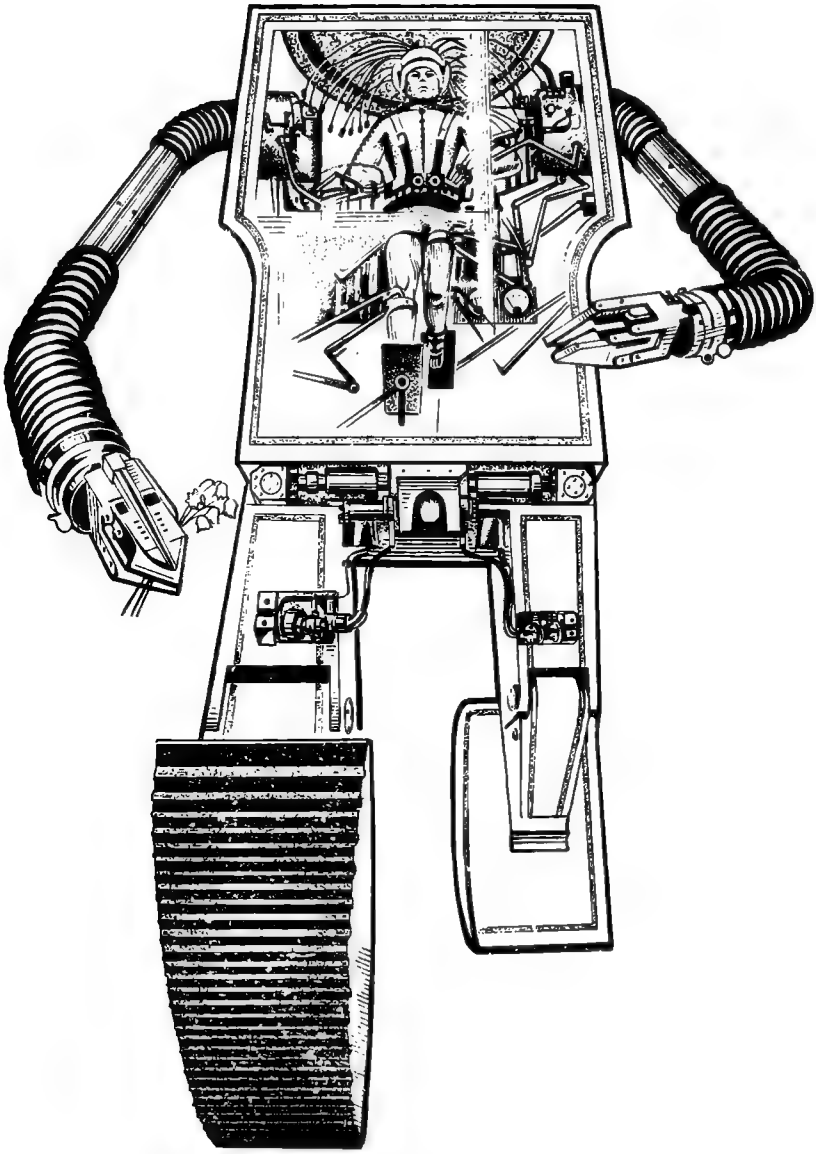
Итак, новый вид продукции спроектирован ЭВМ. Автоматически разработанные конструкции передаются на другую машину, которая отвечает за управление. Чтобы производить сразу несколько видов продукции, детали нужно послать на сборочные линии в определенном порядке. Вот за всем этим и проследит управляющая машина, точнее, она организует выпуск изделий по предварительным заказам.

Вся производственная информация будет поступать на третью машину. Ее обязанности — расчет программы для каждого станка и каждого робота, подбор необходимых материалов и инструментов. Если чего-то на производстве не хватает, третья ЭВМ, отвечающая за управление, сама выдаст заказ на завод-поставщик или на центральную базу снабжения. Кстати, та же машина отправит в ремонт вышедших из строя роботов, заменив их на время другими, со склада.

Когда все сырье, материалы, инструменты будут получены и доставлены в цехи, машина, отвечающая за производство, включит механизмы. Один за другим начнут работать станки, а роботы будут послушно передавать детали с одной операции на другую. Заготовки пойдут от станка к станку, из цеха в цех, приобретая все более законченный вид. Наконец, роботы сборщики соединят отдельные узлы и детали.

Готовая продукция попадает на контролирующие установки, которыми будет распоряжаться еще одна ЭВМ. Контроль качества — дело очень сложное. Ведь современная машиностроительная продукция состоит из сотен и тысяч деталей, неполадки в некоторых из них могут сказаться не сразу. Вполне возможно, что самые ответственные узлы придется проверять еще до окончательной их сборки. Но это нисколько не изменит структуру завода завтрашнего дня. Испытания тоже будут программноуправляемыми. На одном и том же стенде пройдут проверку различные агрегаты. Обслуживающий робот в каждом случае поступит по-особому, чтобы обнаружить неполадки, свойственные лишь данному узлу.

Другая идея в роботостроении — создание усилителей механической мощности человека. Наше тело способно выполнять от 10 до 20 различных контролируемых движений сразу, а при управлении механизмами мы можем совершать одновременно не более двух



Р и с. 13. Человекоподобный робот

движений. Основная причина такого различия состоит в том, что человеку приходится приспосабливаться к неестественному для него способу работы, присущему почти всем машинам. Вот и возникла идея создать усилитель механической мощности человека. Сохраняя свободу движений человека, усилитель мощности значительно уменьшит потребность адаптации человека, позволит ему работать непринужденно. Усилитель — механизм сам по себе очень сложный и дорогой — выгоден там, где нет подъемных кранов и транспортеров с подъемными платформами или где эти машины нельзя использовать. Человек с механическими мускулами сможет переносить тяжелые грузы в необычной обстановке — в тайге, горах, заболоченных местах. В дальнейшем специалисты собираются сделать усилитель автоматическим, т. е. превратить его в человекоподобного робота (рис. 13).

Казалось бы, куда уж дальше этого проекта. Но есть совершенно безграничная область для фантазии роботостроителей — мегамир. В наше время, когда человечество планомерно осваивает ближайшую соседку Земли — Луну, фантасты устремились к звездам. В одной нашей Галактике больше сотни миллиардов солнц, не исключено, что у многих есть планеты.

Из всех космических грез самая распространенная и самая заманчивая — мечта о встрече с братьями по разуму, с иными цивилизациями, желательно, с более развитыми, опередившими нас, способными передать нам секреты еще не сделанных открытий. Однако даже в солнечной системе нет планеты, где человек остался бы в живых, сняв скафандр.

При существующих темпах развития техники человечество может выйти за пределы солнечной системы и устремиться к ближайшим звездам. Но даже до самой близкой из них — Проксима Центавра — расстояние около 4,5 млрд. световых лет. Это значит, что

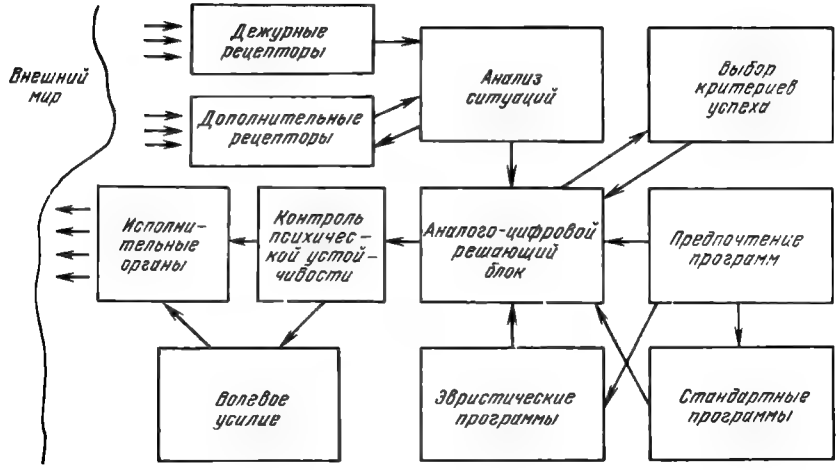



Рис. 14. Структурная схема робота для мегамира

до Проксима Центавра со скоростью, близкой к скорости света, нужно лететь десятки лет. А чтобы добраться до других звезд нашей Галактики, нужны тысячелетия!

Исследования мегамира связаны со сверхдальними космическими полетами. Для таких полетов со скоростями, близкими к световой, потребуется время, превышающее длительность человеческой жизни. Спрашивается: есть ли у человечества способ исследовать мегамир? Да, имеется. Это создание кибернетической системы — робота, управляемого искусственным интеллектом и рассчитанного на длительное функционирование в мегамире. Такой робот может достичь самых дальних районов Вселенной.

Неизвестность сред, в которых придется функционировать системе, непредвиденность и сложность конкретных задач, которые придется ей решать, исключают возможность построения системы управления робота с заданным алгоритмом, сколь бы широкий круг задач в нем не был предусмотрен. Управление системой можно будет реализовать только на принципах эвристического программирования, моделирующего творческое мышление человека. Система должна быть саморазвивающейся не только в части построения новых анализаторов сред, двигателей, внутренней структуры, но и в части саморазвития искусственного интеллекта (рис. 14). Искусственный интеллект должен уметь решать такие частные, но важные подпроблемы, как формирование языка, выработка понятий, распознавание образов, построение гипотез, выбор критериев успеха, самообучение и др.

Подобно человеку, автономная система робота-астронавта с искусственным интеллектом не сможет моделировать реальный мир, если не пройдет обучения такому моделированию в известных человечеству средах и если переход от известных сред к неизвестным не будет для этой системы постепенным.

Проблема создания автономно функционирующего робота-астронавта, управляемого искусственным интеллектом и предназначенного для сбора полезной человечеству информации в мегамире, сегодня стоит на рубеже научных исследований дальнего поиска.

## Некоторые выводы

Рис. 15 дает общее представление о типах роботов и манипуляторов сегодняшнего и завтрашнего дня («Техника молодежи», 1974, №11, с. 36).

В таблице много пустых клеток: одни из них относятся к случаям, когда роботы данных типов не найдут применения (такие клетки перечеркнуты), другие (отмечены вопросительными знаками) — поле деятельности конструкторов.

Верхние клетки таблицы соответствуют областям применения машин и средам, в которых они должны работать. В первых двух рядах клеток (сверху) изображены роботы, работающие в обычных производственных и складских помещениях и на площадках.

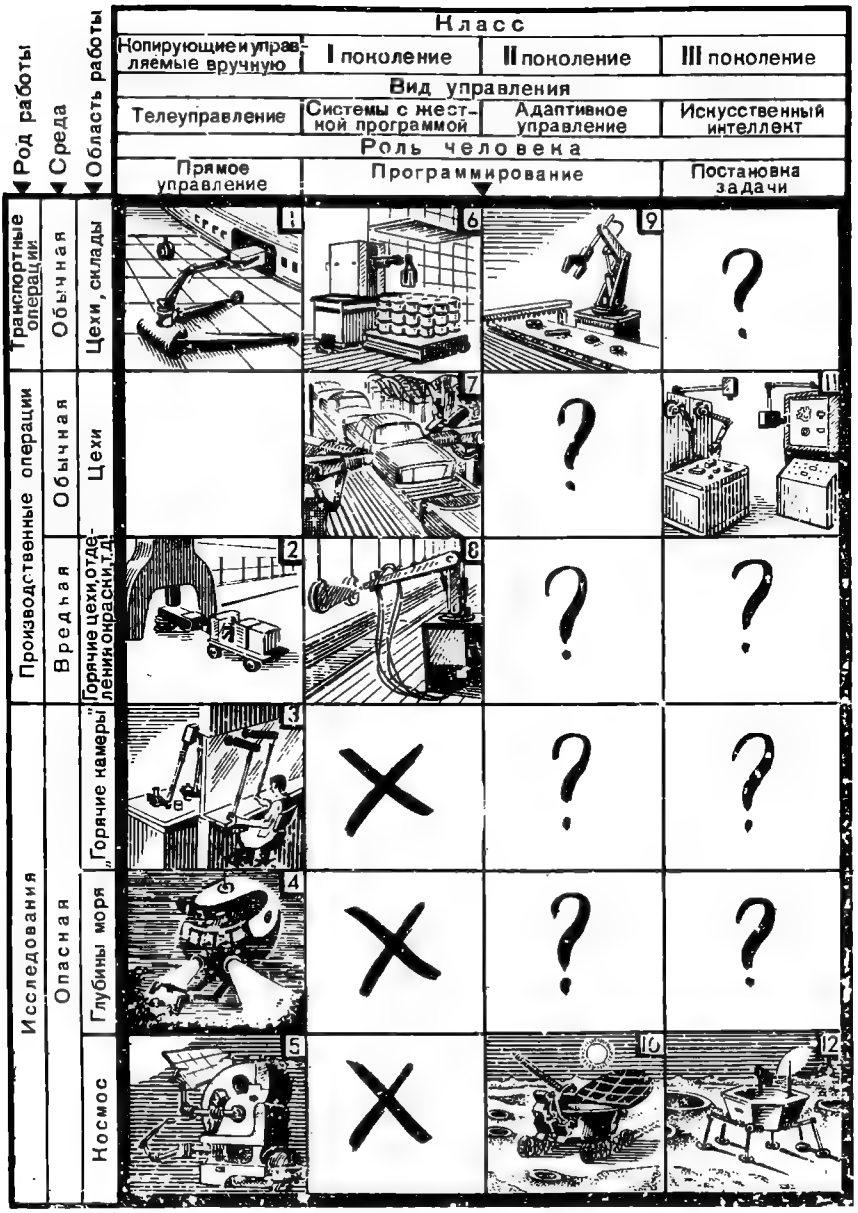



Рис. 15. Типы роботов и манипуляторов

Здесь роботы выполняют погрузочные или другие производственные операции. Машины, изображенные в третьем ряду, помогают рабочим или заменяют их в горячих цехах, в отделениях окраски — словом, там, где вредная среда. Наконец, в трех нижних рядах клеток показаны роботы для опасных условий (камеры с повышенной радиоактивностью, глубины океана, космическое пространство). Здесь роботы и манипуляторы применяются пока для исследовательских целей.

В вертикальных столбцах изображены роботы и манипуляторы систем управления и различных поколений. В первом столбце помещены манипуляторы, непосредственно управляемые оператором. Погрузочная машина и ковочный манипулятор служат как бы усилителями физических возможностей человека. Манипуляторы для атомных, подводных и космических исследований позволяют проводить работу в средах, где присутствие человека невозможно.

Второй столбец объединяет машины с программным управлением, автоматически повторяющие запрограммированные циклы. Это так называемые роботы первого поколения, не способные менять программу в зависимости от внешних условий.

В третьем столбце показаны роботы второго поколения, имеющие адаптивное управление. Они способны приспосабливаться к изменяющимся условиям работы. Этот столбец пока еще мало заполнен, ибо такие машины находятся в стадии разработки.

Последний столбец таблицы отведен для роботов третьего поколения, снабженных искусственным интеллектом. Роль человека в управлении подобными машинами должна сводиться лишь к постановке задачи. И хотя создание таких машин — дело будущего, это будущее гораздо ближе, чем может казаться.

Цифрами в клетках обозначены:

1. Копирующая погрузочная рука (проект).
2. Ковочный манипулятор.
3. Копирующий манипулятор для работы с радиоактивными образцами.
4. Аппарат для подводных исследований (проект).
5. Аппарат для работы в космосе (проект).
6. Робот-укладчик фирмы «Токио — Крейки» (Япония).
7. Роботы фирмы «Юнимэйт» (США) на линии сварки автомобильных кузовов.
8. Специализированный робот фирмы «Тральфа» (США) для покрасочных работ.
9. Робот со «зрением» в виде фотоэлектрической линейки, разработанный Ленинградским институтом авиационного приборостроения.
10. Луноход.
11. Экспериментальный сборочный робот, «читающий» чертеж.
12. Шагающий исследовательский автономный робот (проект).

# БИОНИКА И КИБЕРНЕТИКА — ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РОБОТОСТРОЕНИЯ

## Бион — ячейка жизни

Если роботы первого поколения больше похожи на бесчувственные часовые механизмы, то роботы второго и третьего поколений смогли появиться только в XX веке, вслед за выдающимися достижениями современной науки и техники. Своим существованием они обязаны бионике и кибернетике. Эти молодые науки наших дней создают научный фундамент для построения роботов второго и третьего поколений.

Необходимость приспособления (адаптации) роботов к изменяющимся условиям внешней среды потребовала разработки органов чувств: слуха, зрения, осязания и др. Здесь конструкторы вынуждены были обратиться к природе, создавшей у живых существ самые разнообразные органы чувств.

Бионика занимается использованием знаний о живых системах для разрешения технических проблем, и в частности, проблем роботостроения. Бионика сравнительно новая наука, изучающая приемы, к которым прибегает природа для решения различных задач. Она использует их в машинах, инструментах, приборах, конструкциях, технологических процессах и т. п. Формально годом рождения бионики принято считать 1960 г. Ученые-бионики избрали своей эмблемой скальпель и паяльник, соединенные знаком интеграла, а девизом — «Живые прототипы — ключ к новой технике».

Стремясь найти в живой природе какой-либо принцип работы биологического механизма и воспроизвести его потом в технике, исследователь-бионик пытается смоделировать этот принцип техническими средствами, сначала приблизительно, затем все точнее и точнее. Таким образом, основной метод бионики — это поиск средств копирования живой природы, средств технического и математического моделирования.

Дело в том, что за время развития жизни на Земле (около 2 млрд. лет), в процессе естественного отбора природа создала массу замечательных образцов «живых инженерных систем». Многие «изобретения» природы заимствовались людьми для конструкций еще в древности. Так, древние арабские врачи, изучая глаз человека, создали линзы — подобие хрусталика глаза. В наше время великий русский ученый Н. Е. Жуковский, исследуя полет птиц, разработал теорию подъемной силы крыла и современную аэродинамику. Можно привести еще множество подобных примеров.

В бионике определились три основных направления: биологическое, теоретическое (математическое) и техническое. Биологическая бионика изучает явления и процессы в живых организмах. Теоретическая бионика занимается разработкой математических моделей их жизнедеятельности. Техническая бионика занимается

усовершенствованием существующих и созданием принципиально новых технических систем. При этом, естественно, бионика переносит в технику лучшие творения природы, самые рациональные и экономичные структуры и процессы, выработанные в биологических системах за миллионы лет эволюционного развития.

Перечислим только основные области исследований бионики, имеющие наибольшее отношение к роботостроению:

— исследование биологических рецепторных и анализаторных систем (главным образом, органов зрения, слуха и обоняния) для построения моделей;

— исследование и моделирование нейронов, нейронных сетей, нервных центров и принципов организации мозга живого организма с целью изыскания путей их использования в технических устройствах и системах;

— исследование систем навигации, локации, стабилизации и ориентации представителей мира животных;

— исследование взаимодействия человека с машиной и выявление рационального распределения функций в системе «человек — машина».

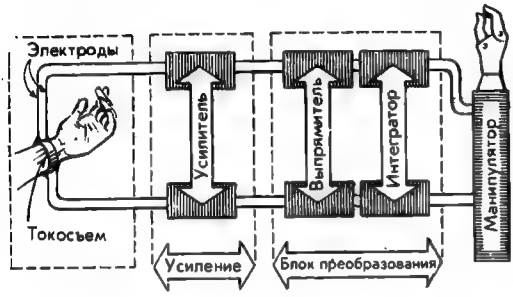
Теперь познакомимся подробнее с некоторыми достижениями бионики, имеющими отношение к роботам. Ученым-бионикам принадлежит идея использования биоэлектрических сигналов мышц для управления. С давних времен люди искали способы вернуть руку тем, кто ее лишился. И это удалось сделать нашим советским ученым, используя биотоки мышц. Известно, что когда человек двигает рукой или ногой, то в его мышцах возникают биотоки. Появляющиеся в мышцах биопотенциалы можно снять с помощью электродов и усилить. Первую модель искусственной руки, управляемой биопотенциалами, изготовили в СССР в 1957 г. А в 1960 г. в Москве на конгрессе по автоматическому управлению 15-летний мальчик, у которого не было кисти руки, взял протезом кусок мела и написал на доске ясно и четко: «Привет участникам конгресса!». Протез его кисти управлялся биотоками мышц (рис 16).

Искусственная рука, созданная советскими учеными, вернула к труду уже сотни людей как в СССР, так и за рубежом. Советское изобретение оправдало надежды английских врачей. Доктор Реджинальд Джонс, глава английских медиков, сказал: «Русские достигли огромного прогресса в электронной физиологии...». Приобрела лицензию на советскую биоэлектрическую руку и Канада. Писатель Д. Олдридж назвал это изобретение уроком гуманизма, который оставит глубокий след во многих сердцах.

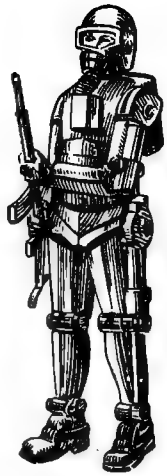
Несмотря на слабость биотоков, усилитель мышечной энергии можно наделить богатырской силой.

Это можно использовать и во вред людям, что и сделала одна из крупнейших американских фирм, занимающаяся по заданию Пентагона созданием «солдат-роботов» (рис. 17). По замыслу военных деятелей США, бронированный скафандр должен приводиться в движение электромоторами, которые будут управляться биоимпульсами мозга солдата. Такой «сервосолдат» легко сможет один

Р и с. 16. Протез, управляемый биотоками




Р и с. 17. Костюм американского пехотинца



нести тяжелое снаряжение и передвигаться гораздо быстрее, чем обычные люди. Он сможет также при помощи мышечной энергии приводить в движение летательные аппараты.

Одним из интересных и перспективных направлений современной бионики, имеющем прямое отношение к роботостроению, является разработка шагающих вездеходов.

Учитывая новые данные о лунной поверхности, полученные в последние годы советскими автоматическими станциями и американскими астронавтами, многие специалисты все больше склоняются к мысли, что лунные вездеходы следует ставить не на колеса, а на ноги в буквальном смысле этого слова. Ноги лучше колес. Не повсюду, конечно, но в горах, в песках, среди ледовых торосов они убедительно доказали свое преимущество. Оправдывают они себя и на Луне.

Какое тысячелетие катится по дорогам Земли колесо! Казалось бы, его многовековая история — верное доказательство совершенства. Так-то оно так, да не совсем. Правда, на дороге ничто не может сравниться с колесом. Но сверните на обочину — ваш автомобиль забуксует в первой же луже, бешено запрыгает на ухабах, не сможет перевалить через небольшой камень или бревно. Подводит колесо; оно предназначено для искусственно и искусно созданных дорог.

Проходимость гусеничной машины гораздо выше, чем автомобиля. Но такой вездеход очень тяжел, испытывает несравнимо большее сопротивление движению (а следовательно, больше расходует энергии). Да и не такой уж он вездеход: преодолевает отнюдь не все препятствия.

Вот почему полки патентных бюро заполняются заявками на принципиально новые «движители», призванные заменить колесо. Говоря «принципиально новые», мы ни в коей мере не оспариваем приоритет Природы. Все живое великолепно обходится без шоссе.

Изобретатель идет за советом к Природе и та предлагает сделать выбор: полет или ползание, ходьба, прыжки или бег. Каждое из этих направлений осваивается с разной степенью успеха. Летать свои машины человек научил довольно хорошо. Отряд ползающих механизмов не столь многочислен. О прыгающих аппаратах и вибраторах инженеры задумались всерьез лишь недавно.

Итак, шагающие устройства...

Первым над этим задумался русский математик П. Чебышев. Он сконструировал «стопоходящую» машину, представляющую собой комбинацию четырех лямбдаобразных механизмов (рис. 18). Пока башмак опирается на грунт, корпус машины равномерно по горизонтальной прямой продвигается вперед. Оторвавшись от земли, башмак описывает в воздухе кривую, напоминающую траекторию стопы пешехода. Чебышев стал родоначальником целого направления в конструировании шагоходов — траекторного синтеза. Последователи ученого стараются, чтобы «лапы» машин копировали движения наших ног.

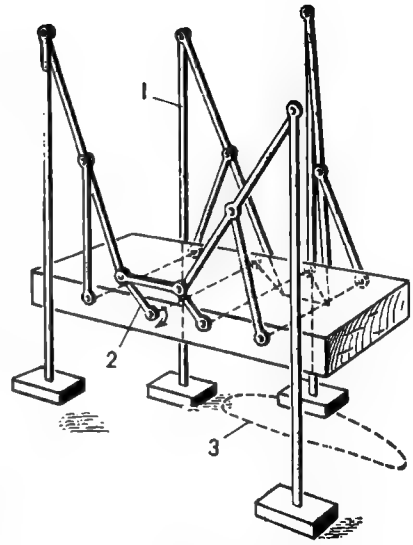



Рис. 18. «Стопоходящая» машина Чебышева:

*1* — опорное звено, *2* — ведущее звено, *3* — оптимальная траектория

К сожалению, у траекторных шагоходов больше недостатков, чем преимуществ. Эти механизмы чрезвычайно громоздки, их кинематическая схема слишком сложна и ненадежна, они очень плохо приспосабливаются к непрерывно меняющимся условиям дороги. Мы, когда нужно, легко изменяем свою походку: сбавляем или прибавляем шаг, выше или ниже поднимаем ноги, ступаем на носок или на пятку...

Над созданием рационального шагающего движителя трудятся многие изобретатели, инженеры, ученые — специалисты разных областей науки и техники: механики и теории механизмов, кибернетики и биологии, математики и медицины. Пройдет немного времени, и шагоход, крепко став на «ноги», отмерит не одну сотню километров по еще не освоенным просторам.

На рис. 19 показана действующая модель космического шагохода «Марс-1», созданного учащимися одесского профтехучилища № 2.

Вспомните «Борьбу миров». Какой представлялась Герберту Уэллсу боевая марсианская машина?

... «что я увидел! Громадный, выше домов, треножник, шагающий по молодой сосновой поросли: машина из блестящего металла, топчущая вереск и сосны... Блеснула молния, и треножник четко выступил из мрака, он стоял на одной ноге, две другие повисли в воздухе... Можете вы себе представить складной стул, который, покачиваясь, переступает по земле?»

Нечто подобное (с точки зрения способа передвижения), но пока еще миниатюрное, не выросшее из пеленок эксперимента можно увидеть в лаборатории Института проблем управления Академии наук СССР, возглавляемой д-ром техн. наук проф. Г. П. Катысом. В содружестве с И. К. Мельниченко он создал простой и оригинальный информационный шагающий аппарат (рис. 20).

Это устройство, прочно стоящее на двух треногах, «ходит» не только по ровной поверхности. Оно запросто переправляется через «пропасть» между столами, взбирается на стулья, слезает с них. По сравнению с колесными машинами круг непреодолимых препятствий сузился для этого аппарата весьма ощутимо.

Каков он, этот удивительный аппарат? Представьте себе пустотелую штангу, шарнирно укрепленную на двух ногах-треногах. Относительно каждой опоры она может поворачиваться наподобие семафора в вертикальной плоскости и вращаться, описывая дугу, в горизонтальной. Вдоль штанги по зубчатой рейке перемещается блок, в котором размещены системы управления, измерительное и исследовательское оборудование, источники питания, электропри-

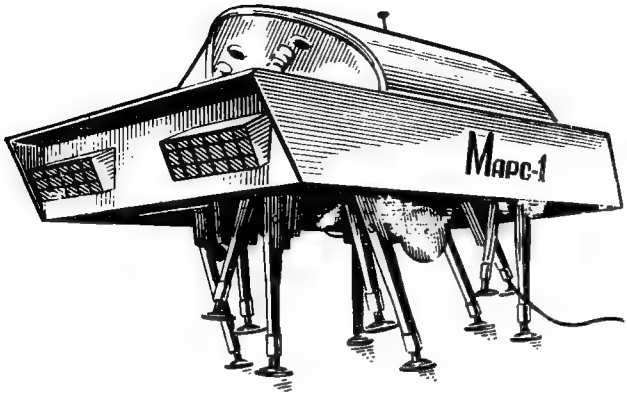



Рис.19. Космический шагоход «Марс-1»

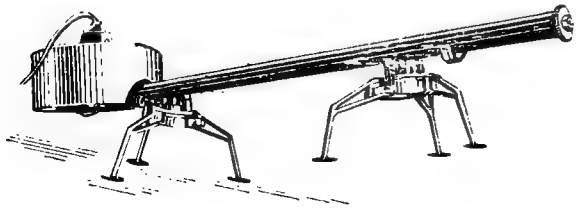


Рис. 20. Информационный шагающий аппарат

боры — словом, все механизмы. Нетрудно догадаться, что на него приходится львиная доля веса машины.

Допустим, блок переместился на левый край штанги. Под его тяжестью правый край вместе с правой треногой приподнимается. Угол подъема в зависимости от конструктивных параметров может достигать 60°! Штанга поворачивается вокруг оси левой опоры на заданный угол, и блок ползет вверх по рейке. Как только он перейдет за опору, штанга опустится и встанет на обе ноги. При перемещении блока на правый край поднимается левая тренога, и начинается новый цикл таких же движений.

Одно из замечательных свойств аппарата — то, что он в зависимости от цели исследования может менять свою «походку». Если ему, скажем, задано быстро достигнуть какого-либо пункта, штанга будет поворачиваться на 180° и машина «пойдет» строго по прямой, делая шаги, равные расстоянию между опорами. Если же надо обследовать какую-то площадь, угол поворота штанги резко уменьшится и аппарат «засеменит» мелкими шажками. При этом диаграмма сканирования поверхности может быть самой разнообразной.

Такому автомату-исследователю не страшны ни пропасти (лишь бы их ширина не превышала расстояния между опорами), ни скалы, ни обрывы (лишь бы шагающая опора доставала до макушки или дна). Телевизионные приемники у основания треног вовремя определят размеры препятствий. В режиме шагания аппарат несколько медлителен. Поэтому на ровных участках лучше всего ставить опоры на колеса. Колесно-шагающий аппарат удачно сочетает в себе достоинства шагохода и автомобиля.

Информационный шагающий аппарат пока еще делает свои первые шаги. Но к нему стоит внимательно присмотреться специалистам по изучению космоса, геологам, полярникам, океанологам, географам — всем тем, чей труд и научный поиск немыслим без надежного помощника — вездехода.

## Проблема „человек — машина„

С возникновением машин, облегчивших человеческий труд, перед бионикой появилась проблема взаимоотношений человека и машины.

Здесь выявилось очень много интересного. Так, было установлено, что во многих производственных процессах (например, при управлении автомобилем или самолетом) полная замена человека автоматическим устройством либо невыгодна, либо невозможна. В связи с этим решается проблема об оптимальном распределении обязанностей между человеком и машиной. Интересным направлением исследований является сравнение характеристик человека и технических устройств, в частности эффективности их работы в различных условиях.

Человек осваивает космическое пространство с помощью пилотируемых и беспилотных космических кораблей. Трудно ответить на вопрос, что более целесообразно: запуск космических кораблей с

человеком на борту или без него. Мнения на этот счет противоречивы, и все они должны быть тщательно взвешены. Вопрос приходится решать, учитывая и политический престиж, правовой и военный аспекты и, наконец, технические и физиологические возможности.

В процессе биологической эволюции физиологическая и психическая конституция человека приспособилась к условиям земного существования. Довольно узкий диапазон изменения температуры и давления воздуха и постоянство его состава, земное притяжение и лучевая энергия, падающая на поверхность Земли, — вот характеристики окружающей среды, в которой проходит жизнь человека. Выход в космос насильственно ставит человека в совершенно отличную среду. Это может привести к временным или необратимым нарушениям в организме человека.

Рис. 21 дает самое общее сравнительное представление о допустимых для человека и автомата пределах ускорений, температур и уровнях излучений, не вызывающих остаточных изменений.

Человек не выдерживает сравнения с автоматом и по чувствительности к воздействию радиоактивного облучения. Радиационная устойчивость электронных систем в десятки раз выше допустимых для человека доз облучения.

Рис. 21 наглядно показывает исключительную чувствительность человека к воздействию ускорений, колебаний температуры и облучению. Однако не только это создает трудности при конструировании пилотируемых космических кораблей. Следует учитывать и такие проблемы, как обеспечение возможности дыхания и питания человека в космическом корабле, а также удаления продуктов обмена, контроль за мышечной деятельностью и действием системы кровообращения в условиях невесомости и, наконец, психическую подготовку экипажа к полету в космос. Следует иметь в виду также то, что человек подвержен усталости и его работоспособность

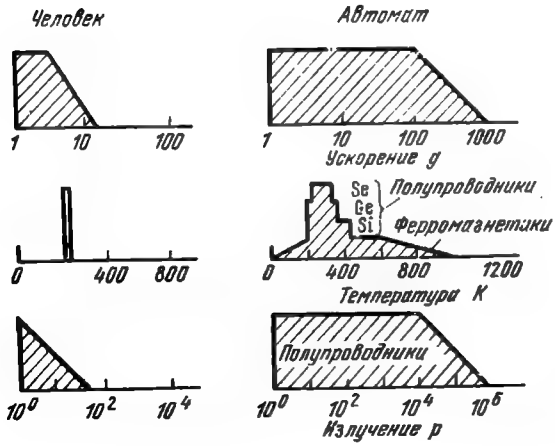



Рис. 21. Сравнение допустимых уровней ускорений, температур и излучений для человека и автомата

временами значительно понижается, в то время как автоматы способны работать надежно длительный срок.

Благодаря быстрому развитию цифровых вычислительных машин с программным управлением проблема машинного интеллекта приобрела в середине нашего столетия особую актуальность. Одним из первых за решение этой проблемы взялся английский математик А. М. Тьюринг. Основной результат его исследований сводится к следующему: автомат может решить любую логически правильно сформулированную задачу, которую может решить человек.

Появление электронных вычислительных машин и других сложных технических устройств, содержащих огромное количество элементов, привело к резкому снижению их надежности. Это обстоятельство заставило ученых задуматься над возможностями создания обучающихся систем.

В этой области природа дает нам прекрасный образец: миллионы лет эволюции сделали организмы чрезвычайно надежными системами, состоящими из огромного числа удивительно ненадежных элементов. Способность к обучению, приспосабливаемость к сложной обстановке, самосовершенствование и самовосстановление — все эти свойства живого очень бы пригодились в технике роботостроения.

Сейчас предлагается много технических устройств и схем, построенных аналогично биологическим системам и основанных на принципе обучения. Для примера можно назвать управляющую систему (робота) для автоматической посадки самолетов или схему управления большим предприятием, обеспечивающую повышенную надежность.

## Кибернетика

Итак, робот с помощью своих органов чувств получил информацию о внешней среде: он увидел, услышал, почувствовал! Нужно реагировать на полученные сигналы. Протянуть руку, взять нужную деталь, с большой точностью установить ее на место, закрепить болтами или винтами и т. д.

Как все это выполнить «по-человечески» — плавно, без лишней суеты, рывков? Ответ на этот вопрос дает кибернетика. Кибернетика неотделима от бионики. Говорят, что кибернетика родилась «под знаком робота».

В самой краткой формулировке кибернетика — это наука об общих законах управления в живых и неживых системах.

Специалистов в области кибернетики объединяет общая цель: максимально автоматизировать процессы управления в различных сферах деятельности человека, повысить производительность труда. Но для этого необходимо глубоко и всесторонне изучить объекты управления, найти закономерности, которым подчиняются процессы управления, раскрыть принципы организации и структуры управляющих систем. И неизбежно объектом самого пристального изучения, самых детальных исследований становится живой орга-

низм: сам человек как управляющая система высшего типа, те или иные функции которой инженеры и ученые стремятся воспроизвести в автоматах. Краеугольные камни кибернетики — теория информации, теория алгоритмов и теория автоматов.

В развитии кибернетики большую роль сыграли и биологические науки, изучающие процессы управления в живой природе. Но, конечно, решающим в становлении этой новой науки был бурный рост электронной автоматики и особенно появление быстродействующих вычислительных машин. Они открыли невиданные возможности в обработке информации и в моделировании систем управления. Как в музыке стремятся «положить на ноты» все человеческие чувства и настроения, так и в кибернетике стремятся «положить на числа» все ситуации, происходящие в природе и нашем сознании.

Кибернетика открыла дорогу применению точного научного анализа для решения проблем управления современными техническими средствами и стала теоретической основой роботостроения.

Общность различных систем управления проявляется во многом и прежде всего в строении сложных динамических систем. Повсюду управление сопряжено с передачей, накоплением, хранением и переработкой информации, характеризующей управляемый объект, ход процесса, программу работы и т. п.

Кибернетика обогащает инженеров, создающих сложные автоматы, опытом природы, выработавшей на протяжении миллионов лет самое сложное, что есть на свете, — организм человека.

Происхождение кибернетики известно так же точно, как и происхождение бионики. В 1949г. появилась книга, которая называется «Кибернетика или управление и связь в животном и в машине». Ее автор — Норберт Винер, профессор Массачусетского технологического института, талантливый ученый (он получил степень доктора наук в Гарвардском университете, когда ему было всего восемнадцать!), математик и философ, к тому же удивительный полиглот, владеющий четырнадцатью языками. Во время второй мировой войны профессор Винер занимался вопросом автоматической наводки зенитных орудий. Тогда уже появились первые следящие радарные установки, которые точно определяли положение и постоянно измеряли скорость самолета, попавшего в луч радара. Известно, что орудие наводят не на самолет, а на точку впереди него. Действительно, выпущенному снаряду нужно какое-то время долететь до цели, а за это время самолет успеет переместиться. Значит, положение точки прицела является функцией длины траектории снаряда, а длина траектории, в свою очередь, зависит от положения точки прицела. Разбирая эту функциональную зависимость, мы оказываемся перед задачей, где неизвестное — длина траектории — является функцией самого себя. Винер нашел элегантное решение и создал вычислительную машину, так сказать замкнутую на саму себя: часть сигнала, полученного на выходе, снова передавалась на вход машины. Это была так называемая система замкнутой петли, или петли обратной связи. Благодаря такой обратной связи маши-

на самостоятельно находила точное время движения снаряда и правильно вычисляла положение точки прицела (рис. 22).

Понятие обратной связи считается общим для техники и биологии. Принцип обратной связи используется, например, в системе, управляющей равновесием человека. Можно привести много примеров, показывающих, что в теле человека имеется огромное количество термостатов, автоматических регуляторов и иных устройств с обратной связью. Их вполне хватило бы для большого химического предприятия. В организме, например, должно быть определенное количество лейкоцитов для защиты от инфекции, обмен кальция должен быть таким, чтобы кости не размягчались, а ткани не кальцинировались и т. п.

Понятие обратной связи далеко выходит за рамки автоматических систем, ее проявление можно встретить в природе и обществе, оно широко используется в науке и технике.

Так что же такое обратная связь?

Допустим, мы наблюдаем за поведением какого-либо объекта. Это может быть и техническое сооружение, и человеческий мозг, и природное явление. В любом случае у объекта можно выделить входной сигнал, т. е. набор влияющих на него воздействий, и выходной — его реакции на эти воздействия. Если изменения выходного сигнала, в свою очередь, влияют на входной, то говорят, что имеет место обратная связь. Если она противодействует причинам, вызвавшим изменения выхода, ее называют отрицательной, если же она усугубляет, усиливает действие причин, — положительной.

Графически система управления с обратной связью представлена на рис. 23. По цепи обратной связи измеренная выходная величина поступает на элемент сравнения, который определяет возмож-

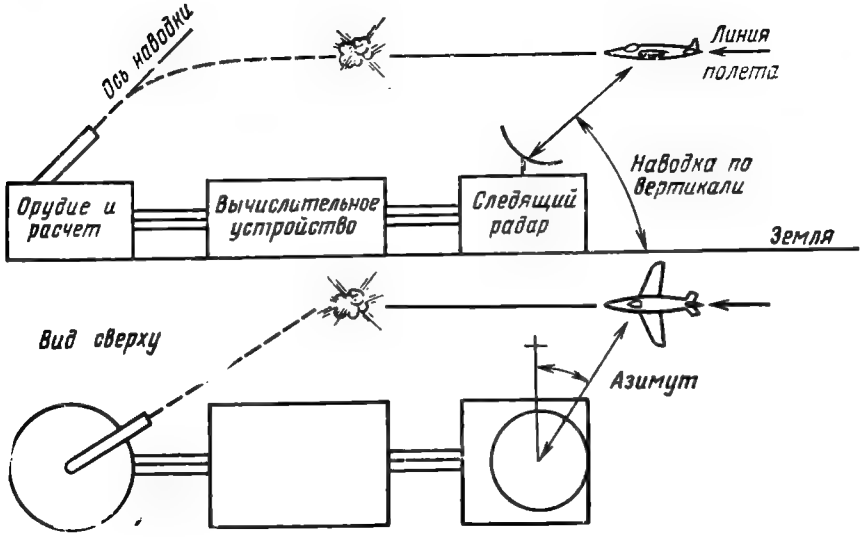



Рис. 22. Схема автоматической наводки орудий

ное отклонение от заданной входной, и подает сигнал рассогласования или ошибки на регулятор. Сигнал вырабатывает такое управляющее воздействие, которое в зависимости от того, будет ли обратная связь отрицательной или положительной, уменьшит или увеличит рассогласование.

В той или иной степени обратная связь присутствует практически во всех процессах и явлениях. Она может быть ничтожной и очень ощутимой. Астроном наблюдает за развитием далекой галактики, но не имеет возможности «замкнуть» цепь обратной связи и повлиять на это развитие. В то же время физик-ядерщик никак не может избавиться от присутствия паразитных обратных связей за счет влияния на исследуемые микрообъекты пусть даже самых тонких инструментов.

Значение принципа обратной связи для нашего благополучного существования очень велико. Мир, в котором не действовал бы этот принцип, был бы миром хаоса и нестабильных явлений. Возьмем простой пример. В джунглях возник пожар. Казалось бы, нет силы, могущей противостоять столь грозной стихии. Но вот над районом пожара создается зона разрежения, и туда стекаются массы холодного и влажного воздуха. Образуются тучи, которые и выполняют роль «пожарных».

Вскрывать и использовать обратные связи в природных и общественных явлениях, создавать новые автоматические системы с обратными связями — такова первоочередная задача, стоящая перед специалистами в области управления и роботостроения.

С возникновением кибернетики связаны надежды людей не только в области создания автоматов и роботов, но и в области социологии. Кибернетика с ее глубоким анализом внутренних и внешних связей процессов, механизмов позволяет приблизиться к созданию структурной и математической модели человека. А если создана модель, то появляется возможность ее анализа и выявления путей совершенствования и лучшего использования того, что моделируется. Ведь не секрет, что в наше время еще не создано системы подбора людей для той или иной деятельности. Очень многое здесь делается случайно. А если иметь объективную модель человека, то задача разумного и рационального использования человеческих ресурсов будет решаться значительно лучше.

От модели человека прямой путь к человекоподобным автоматам — роботам. Ведь нельзя создать подобие, не представив себе существо прототипа (человека).

Р и с. 23. Система управления с обратной связью

# МОДЕЛИРОВАНИЕ — ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОСНОВА РОБОТОСТРОЕНИЯ

## Модель и моделирование

В науке моделью называют подобие конкретного объекта, для которого характерны процессы, сходные с процессами, происходящими в реальном объекте.

Современные научно-технические исследования и промышленное строительство ведутся с огромным размахом и большими затратами средств. Поэтому ошибки или просчеты, особенно, например, в космических исследованиях, могут привести к бесполезной трате материально-технических и людских ресурсов. Этого можно избежать, если предварительно изучить процессы и явления, протекающие в реальном объекте, с помощью модели.

При проектировании искусственных спутников Земли и космических кораблей желательно проводить аэродинамические исследования их моделей на скоростях, значительно превышающих скорость звука. При помощи моделей можно также предварительно изучить системы управления ракетами-носителями. Моделирование позволяет проверить правильность теоретических представлений, уточнить сущность тех или иных явлений, предсказать течение различных процессов.

В качестве модели можно применять устройство, имеющее и иную физическую природу, отличную от природы явлений оригинала.

В. И. Ленин в своей работе «Материализм и эмпириокритицизм» писал: «Единство природы обнаруживается в «поразительной аналогичности» дифференциальных уравнений, относящихся к разным областям явлений» *).

Существуют аналогии между законами, выражающими различные физические явления. Например, аналогичны закон Ома для электрического тока, закон Фурье для теплового потока и закон Дарси для скорости фильтрации жидкости через пористую среду. На основе метода аналогии создают модель, в которой известные процессы, удобные с точки зрения измерений искомых величин, описываются той же системой уравнений, что и изучаемые процессы в оригинале.

В настоящее время все большее значение приобретает моделирование биологических и физиологических процессов, оно осуществляется в разных направлениях. Создаются протезы различных органов человека. Большой интерес представляет имитация при помощи средств современной электроники некоторых функций человеческого мозга и нервной системы.

---

*) В. И. Ленин. Собр. соч., т. 18, с. 366.

Моделирование является методом исследования многих проблем современной кибернетики, изучающей общие вопросы процессов управления и контроля сложных технических систем, живых организмов и их коллективов. Различные методы моделирования не исключают, а взаимно дополняют и развивают друг друга, обеспечивая возможность быстрого и всестороннего изучения процессов в новых устройствах, машинах и сооружениях, значительно снижают затраты на их создание, ускоряют их разработку и ввод в эксплуатацию.

Современные любительские конструкции роботов содержат множество сложных радиоэлектронных систем, предварительную отработку которых целесообразно проводить на моделях. В качестве технического средства моделирования различных систем роботов, позволяющего ускорить их создание и добиться оптимальных режимов работы, можно рекомендовать самодельное «Электронное домино» или так называемые радиокубики, выпускаемые промышленностью.

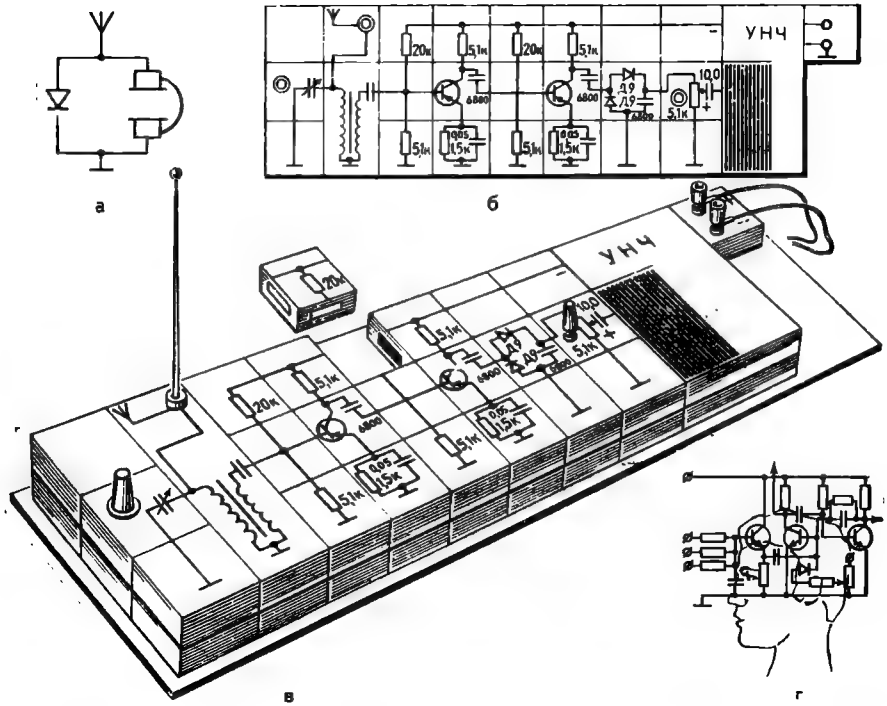
Дело в том, что даже в сравнительно элементарных схемах имитации «речи» автоматов (электронные сирены и др.) или «речи» животных (пения птиц, лая собаки и др.), содержащих сотню и более деталей, гребуемое подобие сигналов схемы естественной «речи» животных (или автоматов) можно получить, меняя одновременно в разных местах схемы параметры трех-пяти различных деталей. Вот тут-то и приходит на помощь «Электронное домино».

«Домино» позволяет быстро и весьма наглядно освоить основные вехи развития радиоэлектроники от создания простейшего детекторного приемника до получения импульсных схем и элементов электронных вычислительных машин. Для любителей-роботостроителей такое «Домино» очень удобно, и его можно сделать самим.

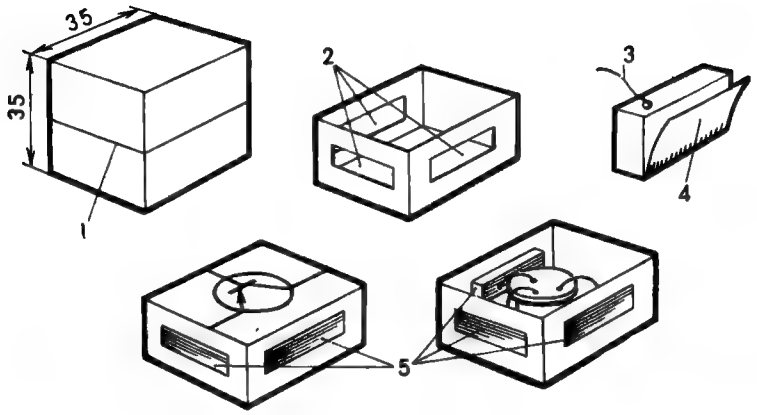
На рис. 24 наглядно показано, как из кубиков «Домино» можно собрать самые различные схемы — от простейшего детекторного приемника до громкоговорящего приемника или даже модели нейронов мозга.

Для изготовления кубиков «Домино» лучше всего использовать готовые пластмассовые кубики, например от «Азбуки на кубиках», и смонтировать в каждый три-четыре магнита, притягивающие кубики друг к другу и прижимающие при этом латунные или посеребрённые контактные пластинки, укрепленные на них. Такая конструкция очень удобна. Кубики притягиваются друг к другу, и схема «вырастает» за 1,5 — 2 мин. Если нет магнитов, возможен целый ряд различных вариантов изготовления «Электронного домино», о котором говорится дальше.

Как сделать кубики с магнитами, показано на рис. 25. Сам кубик представляет собой половину пластмассового кубика размером 3,5×3,5 мм. К каждому магниту перед его установкой следует припаять кусочек проволоки для крепления радиодеталей, в боковых сторонах кубика прорезать отверстия, магниты приклеить эпоксидной смолой или другим клеем (БФ-8, К-88 и т. д.) так, чтобы они выступали из отверстий на 0,2 мм.




Р и с. 24. От простейшего детекторного приемника (*а*) до громкоговорящего приемника (*б*, *в*) или даже модели нейронов мозга (*г*)



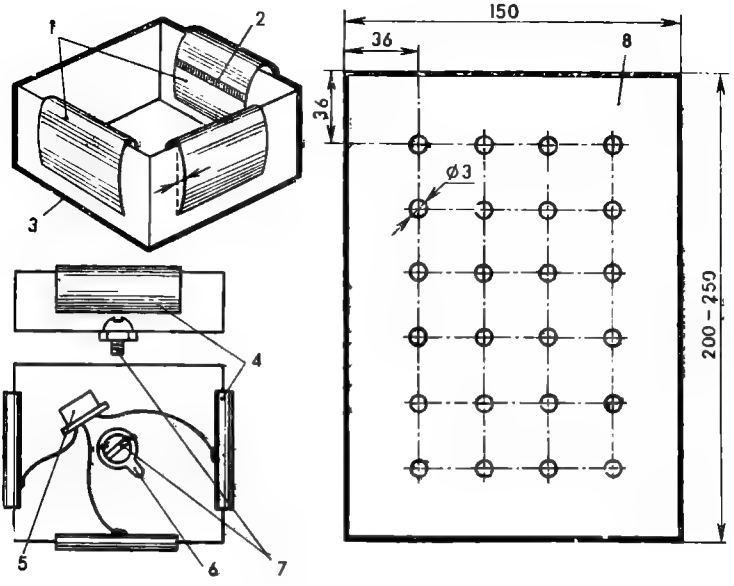

Р и с. 25. Кубики с магнитами:

*1* — место разреза кубика; *2* — отверстия для магнитов; *3* — провод для подпайки деталей; *4* — контактная пластинка (низ припаять); *5* — магниты

Число магнитов в кубике (от двух до четырех) определяется числом контактов. Больше всего магнитов (четыре) в кубике с транзисторами и кубике, соединяющем четыре детали схемы. В кубике с заземлением один магнит устанавливают снизу — он соединяет схему с железной пластиной, на которой собирается вся схема. Таким образом, железная пластинка является «массой» схемы и к ней примыкают все контакты, которые заземляют, а также «+» источника питания.

Из рисунка понятна конструкция кубиков, способ крепления в них деталей и контактных пластинок. К внешней стороне магнита (к одному краю) обязательно надо припаять контактные пластинки из латуни или посеребренной латуни, иначе между магнитами не всегда будут надежные контакты и по схеме придется постукивать, прижимать кубики друг к другу и т. д. Все магниты в каждом кубике надо расположить так, чтобы полюс «Север» одного магнита находился рядом с полюсом «Юг» другого. Все магниты во всех кубиках надо расположить «по часовой стрелке» или все «против часовой стрелки». Тогда ни один кубик не будет отталкиваться от другого, и все будут только притягиваться друг к другу.

Если у вас нет магнитов, то «Электронное домино» можно сделать иначе. В основании каждого кубика (в середине) нужно уста-




26. Кубики без магнитов:

*1* — латунные контактные пластинки; *2* — место пайки; *3* — отверстие для крепления контактной пластинки; *4* — контактная пластинка; *5* — транзистор; *6* — лепесток для крепления «земляных» выводов; *7* — направляющий и контактный стержень в основании кубика; *8* — пластина с отверстиями

новить штырь, который будет удерживать кубик на пластине-основании и одновременно являться, когда это нужно, контактом для заземления. В этом случае половинки пластмассовых кубиков придется располагать на пластине-основании открытой стороной кверху, а после окончательного монтажа деталей, контактных пластинок и проверки кубика в действии нужно будет заклеить кубик сверху крышечкой и нанести на нее обозначение детали.

Кубики в этом случае будут фиксироваться на пластине-основании своими направляющими штырями, входящими в отверстия пластинки (рис. 26). Проще всего для этого использовать болтики диаметром 3 мм. Контакты между деталями обеспечивают латунные пластинки; в кубиках без магнитов много места и контактные пластинки можно выполнить и укрепить самым различным способом.

При тщательном изготовлении контактных пластинок, точной разметке отверстий на железных пластинках и точном размещении направляющих штырей на кубиках конструктор без магнитов будет работать еще надежнее, чем с магнитами.

Очень хорошая и дешевая конструкция получается, если на кубиках «Домино» установить кнопки для одежды диаметром 8—10 мм.

После того как вы изготовите достаточное количество кубиков, можно приступить к моделированию из них различных радиоэлектронных схем. Его проще начинать с моделирования радиоприемных устройств, так как в эфире всегда имеются сигналы радиостанций, по громкости и качеству воспроизведения которых можно судить о влиянии различных параметров схем на их работу (степень усиления сигналов, искажения сигналов и т. п.). Освоив на радиоприемных схемах принципы построения различных усилительных схем, схем детектирования, регулировки усиления, можно перейти к следующей ступени — изучению различных импульсных, логических и других схем, составляющих основу современных кибернетических устройств. Эти схемы сложны, но становятся вполне доступными благодаря «Электронному домино».

Начнем моделирование с простейшего детекторного приемника, а закончим громкоговорящей схемой на пяти-шести транзисторах.

## Простейший детекторный приемник

Вблизи радиостанции сигналы имеют большую мощность и их можно услышать с помощью простой схемы, состоящей из антенны детектора и телефона (рис. 27). В схеме положительная полуволна принятых антенной высокочастотных колебаний замкнется через детектор на землю, а оставшаяся часть пройдет через телефоны и вызовет в них колебания звуковой частоты.

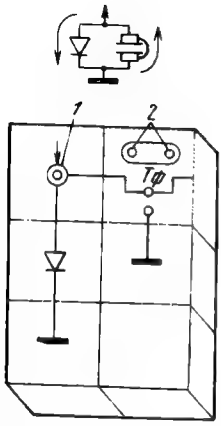



Рис. 27. Простейший детекторный приемник:

*1* — гнездо подключения антенны: *2* — гнезда подключения телефонов

В приемнике нет колебательного контура, при помощи которого можно настроиться на волну желаемой радиопередачи. Он совершенно лишен избирательности и воспроизводит одновременно все достаточно сильные радиосигналы. Чтобы в наушниках (телефонах) такого приемника появился слабый звуковой сигнал, требуется антенна больших размеров — длиной 5 — 10 м и хорошее заземление схемы.

Основными достоинствами детекторного приемника являются простота его устройства и хорошее качество звучания, особенно при приеме ближних мощных радиостанций. Недостаток его — очень малая громкость звучания, так как сигнал за детектором не усиливается. К простейшему детекторному приемнику можно добавить резонансный контур и усилитель низкой частоты (УНЧ) на двух-трех транзисторах, обладающий высокой чувствительностью.

## Детекторные приемники с резонансными контурами

Детекторный приемник с перестраиваемым контуром можно собрать по схеме рис. 28.

Детектор в нем — точечный диод любого типа (*Д1, Д2, Д9*). Головные телефоны электромагнитные, высокоомные, например, типа ТОН-1, «Октава». Параллельно телефонам подключается конденсатор емкостью 3800—6800 пФ.

Контурную катушку можно использовать от какого-либо карманного приемника. Для настройки контура, например, на радиостанцию «Маяк» параллельно катушке нужно подключить конденсатор постоянной емкости 250—270 пФ. Если вы подключите конденсатор переменной емкости типа «Тесла» (25—350 пФ), то с его помощью можно настраивать приемник на различные радиостанции. Конденсатор «Тесла» переменной емкости следует укреплять в целых кубиках (высотой 35 мм), не разрезая их пополам, а только срезав дно (одну из сторон).

Более совершенный детекторный приемник можно собрать по схеме рис. 29. Для улучшения добротности входного контура он связывается с детектором через катушку связи. Как видно из рис. 30, контурную катушку с катушкой связи приходится монтировать в трех склеенных дихлорэтаном кубиках. Такие катушки на каркасах, надетых на ферритовые стержни Ф-400 или Ф-600, можно приобрести в радиомагазине.

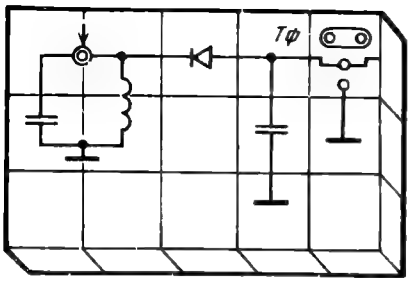



Рис. 28. Детекторный приемник с контуром

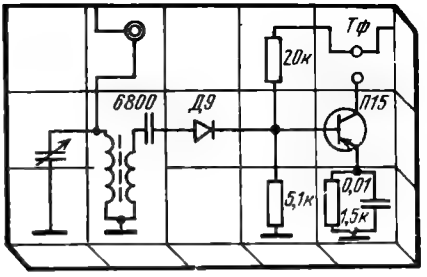



Рис. 29. Приемник с катушкой связи

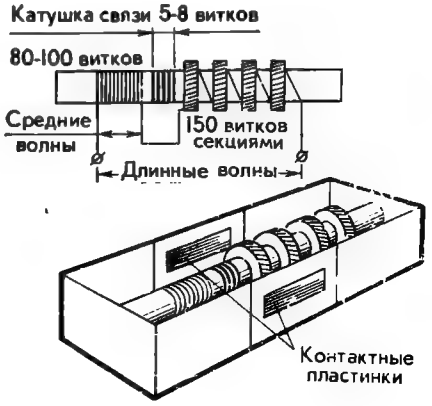
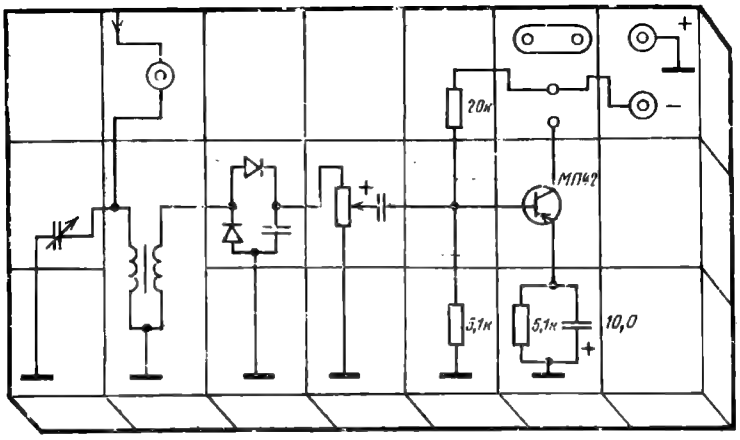



Рис. 30. Конструкция входного устройства приемника (ферритовый стержень с катушками в пластмассовых кубиках)

Средневолновая часть катушки содержит 80—100 витков провода ПЭЛ 0,1—012. При настройке на длинные волны к средневолновой катушке подключается еще около 150 витков (намотанных секциями). Катушка связи, содержащая 5—8 витков, находится в средней части каркаса. Включать контур на средние или длинные волны следует в зависимости от того, радиостанции какого диапазона лучше прослушиваются в вашем районе. При желании на кубике можно установить перемычку, переключающую приемник на длинные или средние волны.

## Детекторный приемник с усилителем низкой частоты (0-V-1)

В рассмотренных ранее схемах даже при большой внешней антенне громкость принятых сигналов очень незначительна. На рис. 31 приведена схема детекторного приемника с усилителем низкой частоты на одном транзисторе. Это приемник типа 0-V-1, где 0 указывает число каскадов усиления высокой частоты (на схеме их нет, поэтому стоит нуль), V означает наличие в приемнике де-




Р и с. 31. Приемник с усилителем низкой частоты

тектора, а последняя цифра (единица) указывает на число транзисторов — усилителей низкой частоты.

В этом случае нужны наружная антенна и заземление, потому что чувствительность приемника 0-V-1 невелика, хотя в нем и появился новый элемент — транзистор. В усилителе можно применять любой низкочастотный маломощный транзистор *(П16, МП40, МП42)*. Детектированный сигнал в приемнике поступает на базу транзистора, который усиливает колебания низкой частоты. Телефоны (ТОН-1, ТН-2, ДЭМ-4), включенные в коллекторную цепь транзистора, преобразуют низкочастотные колебания в звуковые. Резисторы (20 и 5,1 кОм) устанавливают режим работы транзисторов, при котором звучание телефонов получается наиболее громким и без искажений. При правильном подборе резисторов напряжение на коллекторе транзистора должно быть примерно равно половине напряжения источника питания.

## Приемник с усилителем высокой и низкой частоты (1-V-1)

На рис. 32 приведена схема приемника 1-V-1, в которой имеется один каскад усиления высокой частоты (транзистор П416), детектор с удвоением напряжения (два диода *Д9* с конденсатором 6800 пФ) и один каскад усиления низкой частоты (транзистор МП42). В схеме предусмотрена регулировка громкости (резистор 5,1 кОм, расположенный после детектора). В качестве нагрузки выходного каскада используются телефоны типа ТОН-1 или ТОН-2, которые включаются в цепь коллектора транзистора МП42. Для

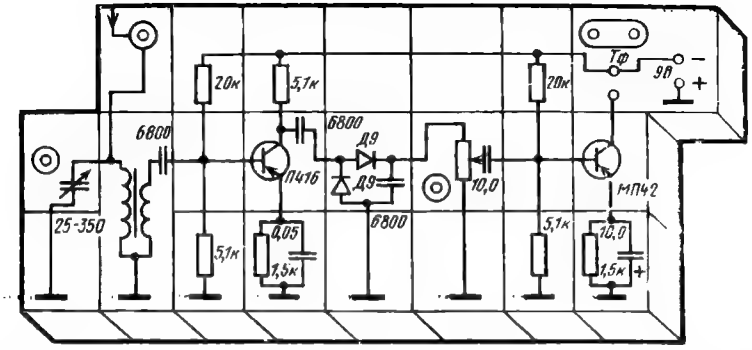



Рис. 32. Приемник с усилителями высокой и низкой частоты (со схемой удвоения)

включения телефонов на кубике нужно установить гнезда. Одно гнездо соединяется с «минусом» источника питания (—9 В), а другое — с коллекторным выводом МП42.

## Простейшие импульсные схемы (мультивибраторы)

Во время второй мировой войны армии многих воюющих государств ввели в действие новое радиоэлектронное оружие — радиолокаторы или, как их тогда называли, «приборы невидимого боя», позволявшие обнаруживать различные объекты по отраженным от них радиоволнам. Радиолокация повлекла бурное развитие нового направления в радиотехнике — импульсных схем. Сейчас на таких схемах строят телевизоры, электронные вычислительные машины, а также различные кибернетические устройства.

На основе широко распространенных импульсных схем, называемых мультивибраторами, создают электронные модели различных органов живых существ и даже клеток головного мозга человека.

Схема простейшего симметричного мультивибратора приведена на рис. 33. Это усилитель, выход которого подключен к его же входу с помощью так называемой цепи обратной связи. Это становится еще яснее из схемы усилителя, приведенной на рис. 34. Каждый, кто собирал усилители, смог убедиться, что из-за такой обратной связи схема иногда сама начинает возбуждаться и генерирует самые неожиданные звуковые сигналы. Дело в том, что проводник, соединивший выход усилителя с его входом, создает между ними положительную обратную связь. По проводнику часть энергии попадает с выхода на вход усилителя, усиливается и снова поступает на вход усилителя и т. д. Наконец наступает предел, когда энергия, идущая с выхода на вход усилителя, превышает потери энергии в усилителе. В результате возникают незатухающие электрические колебания и усилитель становится генератором, в данном случае мультивибратором.

В отличие от других генераторов мультивибратор генерирует периодически сигнал прямоугольной формы, который разлагается на бесконечное множество гармонических сигналов. Отсюда название «мультивибратор» (от латинских слов multum — много и vibrato — колеблю). Каждая генерируемая составляющая называется гармоникой Как и любое синусоидальное колебание, гармоника характеризуется частотой и амплитудой. В сумме гармоники образуют периодический сигнал довольно сложной формы, чаще всего похожий на прямоугольник.

Попробуйте графически сложить несколько синусоидальных кривых (рис. 35) Чем больше суммируется гармонических составляющих, тем форма результирующей кривой получается ближе к прямоугольной Из схемы мультивибратора (см. рис. 33) видно, что положительная обратная связь создается за счет того, что выходное напряжение с коллектора транзистора *T1* через конденсатор $C_1$ подается в цепь базы транзистора *T2*. В свою очередь, выходное напряжение с коллектора транзистора *T2* поступает в цепь базы транзистора *T1*.

Значения сопротивлений резисторов $R_к$ (коллектора) и $R_б$ (базы) подбираются такими, чтобы при отключении другого транзистора напряжение на коллекторе составляло всего несколько десятых долей вольта. Такой режим работы транзистора называется насыщенным. Для его установления необходимо соблюдать следующие условия:

$$R_б \leqslant (0{,}5—0{,}7)\,\beta R_к,$$

где β — коэффициент усиления транзисторов по току. Поскольку транзисторы имеют большой разброс параметров, то следует ориентироваться на минимальное значение β, гарантированное для данного типа.

Минимальное значение сопротивления резистора $R_к$ обычно ограничивается максимальным током коллектора и в среднем составляет несколько килоом.

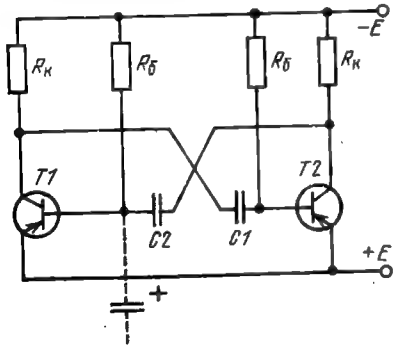



Рис. 33. Мультивибратор

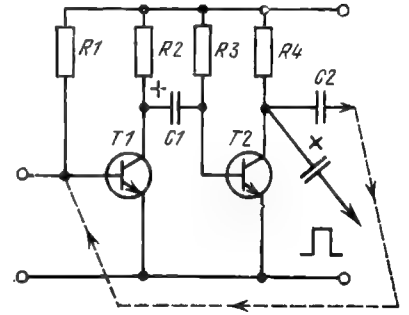



Рис. 34. Усилитель с цепью обратной связи

На рис. 36 показано, что напряжение на коллекторе периодически меняется от максимума (небольшого остаточного напряжения $U_{ост}$). Обычно амплитуда импульса меньше уровня напряжения питания на 0,5—1,0 В. Таким образом, можно считать, что постоянное напряжение питания преобразовано в переменное. Частоту повторения импульсов можно регулировать подбором емкости конденсаторов связи:

$$C\,[\text{мкФ}] = \frac{1}{2\pi F_{\text{п}}\,[\text{кГц}]\,R_{\text{Б}}\,[\text{кОм}]}.$$

Здесь $F_{повт}$ — частота повторения импульсов. Например, требуется получить $F_{повт} = 50$ Гц, $R_б = 20$ кОм. Тогда

$$C = \frac{1}{2\pi \cdot 0{,}05\ 20} = 0{,}16 \text{ мкФ}.$$

Точное значение генерируемой частоты можно получить, если регулировать мультивибратор, подбирая конденсаторы или изменяя в небольших пределах номинал резистора $R_б$. На рис. 37 приведена схема мультивибратора, собранного из кубиков для сборки радиоприемных устройств, которые обозначены звездочками. Чтобы собрать эту схему, нужно сделать пять дополнительных кубиков: 1-й и 5-й с транзисторами типа МП42, отличающимися расположением вывода от базы транзистора, 2-й и 4-й кубики с конденсаторами *C1* и *C2* на 0,025 мкФ и сложный большой кубик *3*, склеенный из четырех обычных кубиков. В 3-м кубике должно быть установлено шесть магнитов с контактными пластинами.

Теперь приступим к экспериментам с мультивибратором.

Прежде всего убедимся в том, что частота сигналов, генерируемых мультивибратором, действительно определяется емкостью конденсаторов С1 и С2 и сопротивлением резисторов в цепи базы транзисторов.

Если, например, вы установите в цепь базы резисторы по 100 кОм, в цепь коллектора — по 2 кОм и будете подключать конденсаторы емкостью 0,047, 0,02 и 0,01 мкФ (рис. 38), то услышите

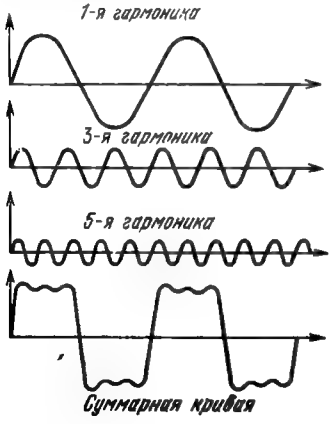
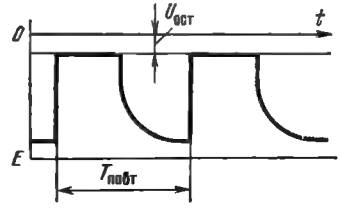
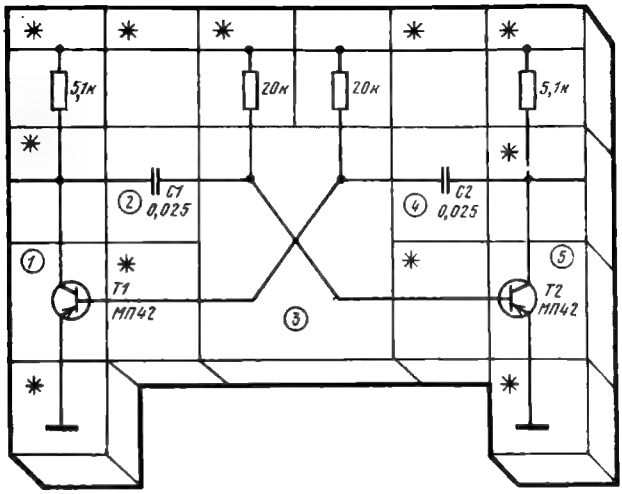


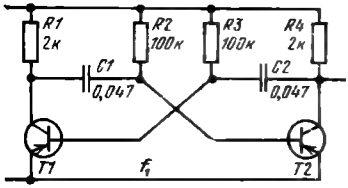

Рис. 35. Графическое сложение синусоидальных кривых

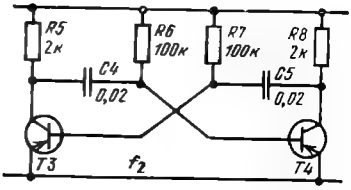
Рис. 36. Форма импульса сигнала, генерируемого мультивибратором






Р и с. 37. Мультивибратор из кубиков



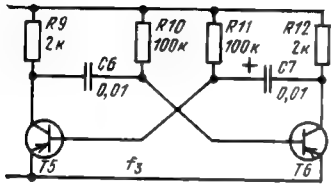
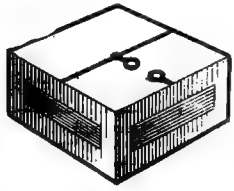




Рис. 38. Генераторы частот
$f_1 - 480$, $f_2 - 640$, $f_3 - 840$ Гц



Р и с. 39. Кубик с гнездами

частоты 480, 640 и 840 Гц, близкие к частотам гласных букв У, О, А. Подавая питание на схему от батареи через телеграфный ключ, можно использовать мультивибратор как генератор телеграфных сигналов.

Если вместо одного резистора в цепь базы транзисторов (см. рис. 37) введем кубик с гнездами для подключения каких-либо внешних устройств или цепей (рис. 39), то мы сможем провести еще ряд интересных экспериментов.

Так, при включении в цепь базы фоторезистора ФСК-1 или другого подобного ему получим некоторое подобие схемы фотоэлектронного реле, которая будет генерировать сигналы разной частоты в зависимости от освещенности фоторезистора.

Можно подобрать такие сопротивления резисторов в цепи коллекторов *Т1* и *Т2* и оставшегося в схеме резистора в цепи базы, при которых освещенная схема не будет давать сигналов, но при перекрытии светового потока она начнет генерировать тревожные сигналы. Это уже «электронный сторож».

Если к той же схеме (см. рис. 37) вы будете подключать резисторы с различным сопротивлением, то получится простейший электромузыкальный инструмент. Так, при подключении 12 резисторов с сопротивлением от 30 до 100 кОм можно получить звучание целой музыкальной октавы (например, первой) с частотами от 220 до 440 Гц. Если добавить еще 12 резисторов, то диапазон звучания можно расширить до 880 Гц. В этом случае будут звучать ноты 1-й и 2-й октав и можно будет даже сыграть простейшие музыкальные мелодии.

В качестве клавиатуры используют небольшие кнопки для включения звонка или контактные пластинки от старых реле. Конструкции «клавиатуры» могут быть самыми разнообразными. Чтобы не нарушить общего стиля электронного конструктора, выносную клавиатуру можно сделать так, как это показано на рис. 40. Внутри четырех склеенных дихлорэтаном или другим клеем кубиков располагают восемь резисторов, подключенных к общей шине,

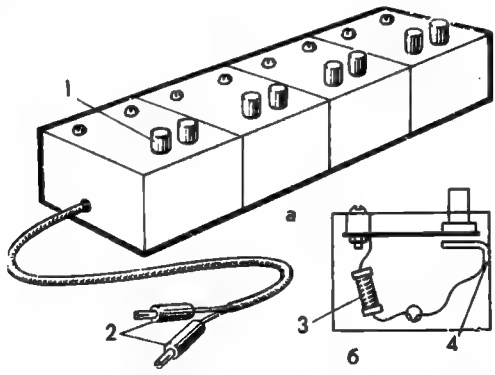



Рис. 40. Клавиатура музыкального инструмента:

*а* — внешний вид; *б* — внутренний вид; *1* — клавиши из старых транзисторов; *2* — вилки для подключения к схеме; *3* — резистор; *4* — общая шина

связанной со схемой пружинящими пластинками, которые нажимают клавиши-кнопки, в качестве их можно использовать негодные транзисторы.

Резисторы для клавиатуры электромузыкального инструмента нужно подбирать такие, чтобы получились частоты первой октавы в соответствии с табл. 1.

Таблица 1

| Нота | Частота, Гц | Нота | Частота, Гц | Нота | Частота, Гц |
|---|---|---|---|---|---|
| До | 261,6 | Ми | 329,6 | Соль диез | 415,3 |
| До диез | 277,2 | Фа | 349,2 | Ля | 440 |
| Ре | 293,7 | Фа диез | 370 | Ля диез | 466,2 |
| Ре диез | 311,1 | Соль | 392 | Си | 393,9 |

Во всех описанных случаях «Электронное домино» можно использовать для выбора наилучших параметров приведенных схем. «Электронное домино» позволяет разработать и исследовать множество увлекательных электронных схем.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЧИ

## Искусственная речь и связанные с ней проблемы

Говорящие машины уже существуют. Словарь их пока небольшой — состоит из слов, произнесенных человеком, которые записаны на магнитном барабане. Наиболее известный пример — «говорящие часы», работающие на многих телефонных станциях. Позднее этот принцип был использован фирмами, производящими ЭВМ, для обслуживания объектов телефонной сети разнообразной справочной информацией.

Машины, использующие предварительно записанную речь, довольно дешевы и очень удобны, если число сообщений невелико, но непригодны, если требуется обычная непрерывная речь. Одна из причин состоит в том, что с возрастанием числа хранимых слов хранилище записанных слов становится слишком большим и поэтому дорогим. Другой причиной является то, что в разговорной речи одно и то же слово может участвовать в предложениях разного типа, с различными ударениями, интонациями и несколькими вариантами произношения. Поэтому невыгодно использовать непосредственную запись речи для говорящих машин более общего типа Выгоднее пользоваться машинами, в некотором смысле моделирующими работу голосовой системы человека. Машины, которые не воспроиз-

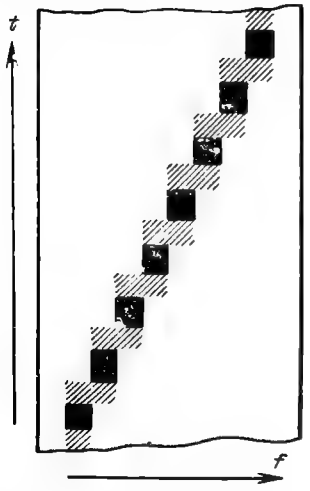
водят ранее записанную речь, а генерируют речь синтетическую, называются «синтезаторами речи»

История синтезаторов речи очень стара. Наиболее ранние были непосредственными копиями человеческого речевого аппарата и использовали воздуходувные мехи, язычки и резонаторы Управляли этими машинами, как правило, вручную, с помощью набора рычагов Одна из машин этого типа построена Вольфгангом фон Кемпелиа в конце XVIII века. Известно, что она очень хорошо имитировала речь, хотя не совсем правильно воспроизводила некоторые звуки. В 1920 г. акустическая модель Р. Пэджета произносила целые фразы, например: «Алло, Лондон, вы слушаете?» или «О, Лейла, я люблю вас!» Для этого автору приходилось руками очень искусно изменять форму резонирующей полости машины.

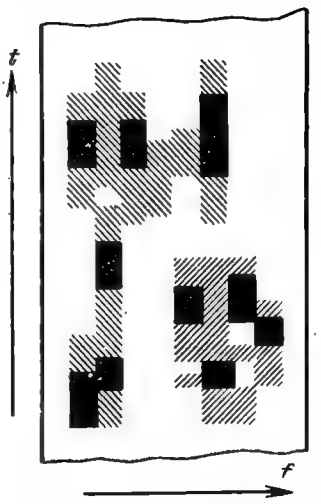
При дальнейшем моделировании оказалось (как часто бывает при моделировании функций человеческого организма), что воспроизведение человеческой речи очень сложно, а число переменных величин и их связей астрономическое.

Развитие говорящих машин стало действительно возможным только с появлением современной электронной техники, которая позволяет достигнуть необходимого уровня сложности значительно легче, чем любая механика, изготовленная человеком.

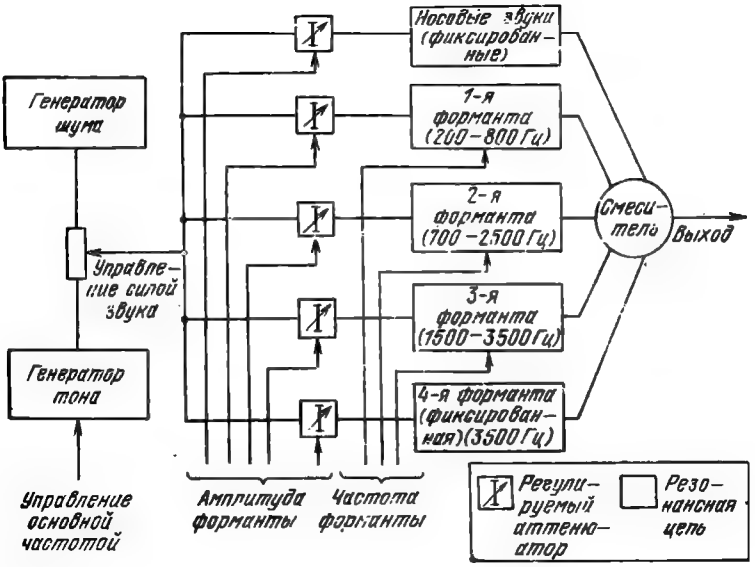
Убедиться в исключительной сложности речевых сигналов позволяют спектрографы или анализаторы, записывающие звуки в области частот человеческого голоса Простейшим прибором для частотного анализа является языковый частотомер, содержащий ряд упругих стальных пластинок с различной частотой собственных колебаний. При подаче на электромагнит этого прибора сигналов речи поле электромагнита возбуждает только тот язычок, собственная частота которого совпадает с частотой наблюдаемого сигнала.



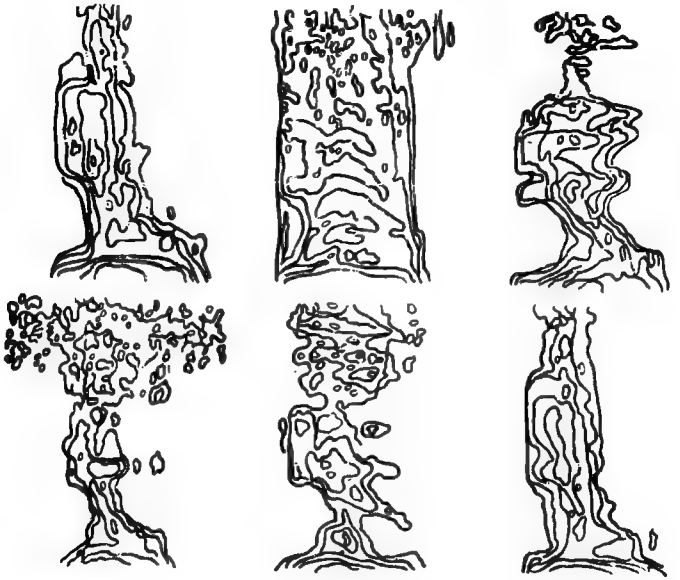

Р и с. 41. Спектр звука сирены




Р и с. 42. Спектр звука человеческой речи




Р и с. 43. Структурная схема электронной говорящей машины



Р и с. 44. Контурные диаграммы английского слова «you»

На рис. 41 показан получающийся таким способом частотно-временной спектр звука сирены с постепенно повышающейся частотой, а на рис. 42 — спектр звука отдельного слова, произнесенного человеком. Как видно из рисунков, звуковые колебания, образующие речь (в отличие от «речи» автомата-сирены), содержат много составляющих, которые в сумме создают сложную картину, с трудом поддающуюся интерпретации.

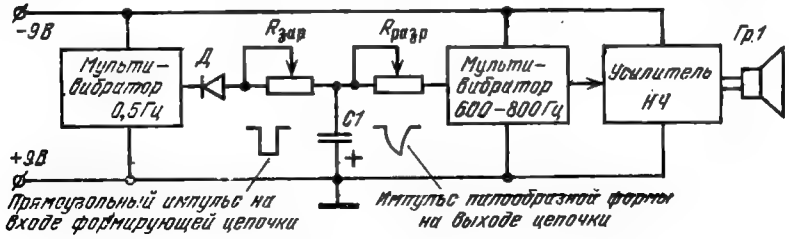
На рис. 43 приведена структурная схема электронной говорящей машины, широко применяемой в различных исследованиях и управляемой от ЭВМ. В ней используется то обстоятельство, что подавляющая часть энергии звука речи сосредоточена в пяти типичных областях частот (фонем). Для управления машиной от ЭВМ требуется лишь небольшое количество информации. При тщательных исследованиях речи с помощью так называемых формантных синтезаторов можно получить «картины» отдельных звуков или слов. К сожалению, эти звуковые «картины» очень отличаются не только у различных дикторов, но даже у одного и того же человека в разное время.

Взгляните на шесть контурных диаграмм английского слова «you» (рис. 44), и вы убедитесь в этом. Диаграммы получены от пяти различных людей, произносивших слово «you», при этом верхняя левая и нижняя правая «картины» получены при произнесении слова одним и тем же человеком (на диаграммах контурные линии изображают различные интенсивности звучания).

## Моделирование речи автоматов

Как мы уже видели из рис. 41, «речь» автомата-сирены выглядит значительно проще речи человека. Чтобы получить искусственный сигнал сирены, нужно сформировать звуковой сигнал, частота которого в течение времени нарастала бы по линейному закону. Это сделать нетрудно.

Функциональная схема электронной сирены приведена на рис. 45. Отрицательные прямоугольные импульсы с выхода 1-го задающего мультивибратора через диод *Д*, пропускающий только отрицательную часть импульса, поступают на зарядно-разрядную цепочку, состоящую из зарядного резистора $R_{зар}$, конденсатора *С1* и резистора цепи разряда $R_{разр}$. Зарядно-разрядная цепочка пре-




Р и с. 45. Функциональная схема электронной сирены

вращает прямоугольный импульс инфранизкого генератора в пилообразный импульс, спад и нарастание которого и будут определять характер спада и нарастания тревожных сигналов сирены. Второй мультивибратор «завывает» под воздействием импульсов пилообразной формы.

Регулируя величину $R_{зар}$ (обычно это резистор 5—20 кОм) и $R_{разр}$ (50—100 кОм), добиваются нужного качества звучания сирены. Как видно из рисунка, работа сирены определяется подбором параметров зарядно-разрядной цепочки и выходного (второго) мультивибратора. Их можно собрать из кубиков электронного конструктора и терпеливо на слух подбирать параметры схем. С кубиками конструктора, в комплекте которого имеются разные детали, при достаточном терпении экспериментатора можно добиться иде-

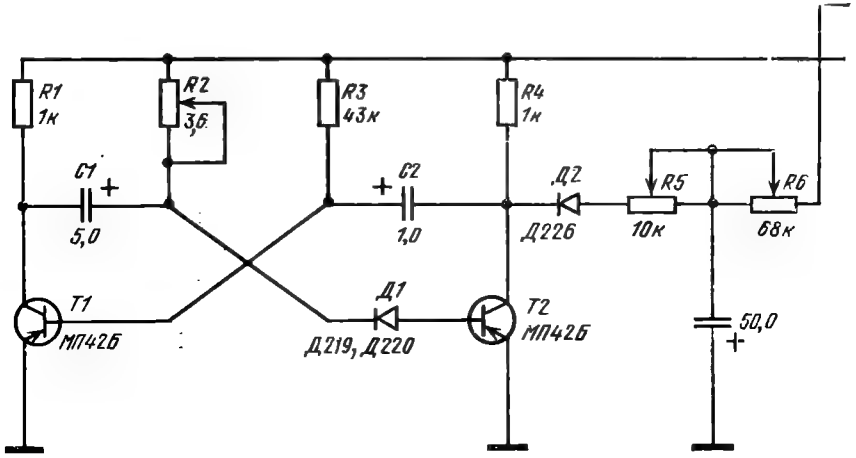



Рис. 46. Схема

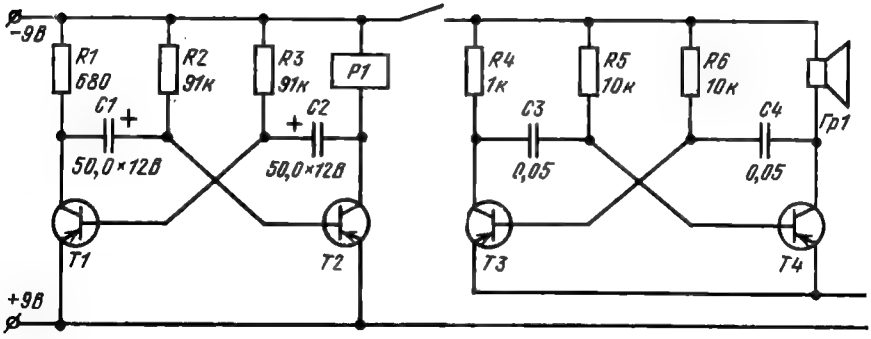
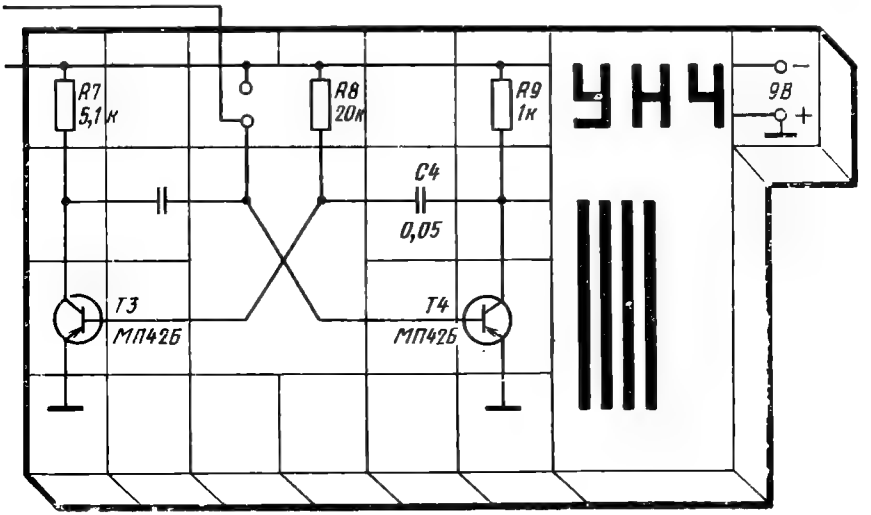



**Рис. 47. Схема, имитирующая сигналы спутника**

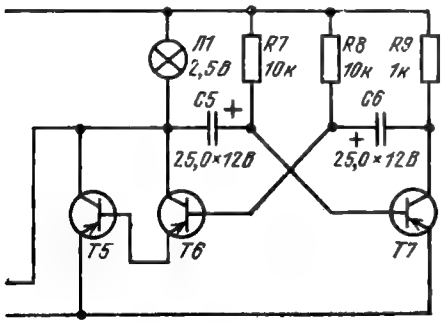
ального звучания сирены и продемонстрировать влияние на работу схемы зарядно-разрядной цепочки и параметров второго мультивибратора.

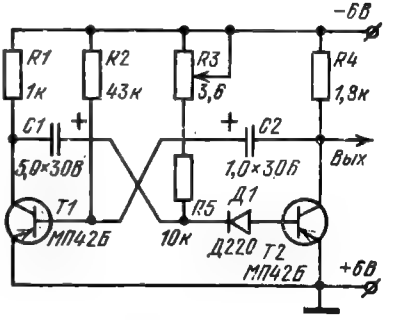
В целом схема электронной сирены приведена на рис. 46. Слева показан задающий мультивибратор, а справа — 2-й мультивибратор, генерирующий завывающие сигналы. С его коллекторной нагрузки сигналы поступают на блок УНЧ.

На рис. 47 приведена схема устройства, вырабатывающего сигналы спутника (схема «бип-бип»). В нем уже три мультивибратора: 1) левый, включающий питание на два последующих мультивибратотора по заданной программе, 2) средний, генерирующий сигналы порядка 1800 Гц, и 3) правый, являющийся как бы телеграфным ключом. В схему включен специальный транзистор, чтобы




электронной сирены




(«бип-бип»)

Рис. 48. Низкочастотный мультивибратор

одновременно со звуковыми сигналами мигала лампочка *Л1*. Звуковой генератор и сигнальная лампочка вместе потребляют ток около 150—200 мА, поэтому в левое плечо ключевого генератора включен дополнительный транзистор средней мощности. Если не использовать лампочку и обойтись только звуковыми сигналами, то специальный транзистор можно исключить. При этом эмиттер *Т6* подключается непосредственно к проводу положительного источника питания).

В обычных мультивибраторах для получения низких частот приходится использовать конденсаторы очень большой емкости — до 50 мкФ. Это неудобно, так как такие конденсаторы и дефицитны и имеют большие размеры. Гораздо удобнее в качестве генератора низкочастотных импульсов использовать другой мультивибратор (рис. 48). Его принципиальной особенностью является наличие диода *Д1* в цепи базы транзистора *Т2*. Благодаря этому диоду резко уменьшается шунтирующее действие транзистора *Т2* на цепь заряда конденсатора *С1*, что позволяет значительно увеличить сопротивление резистора *R3*, через который происходит разряд *С1*. Именно поэтому оказалось возможным получить колебания очень низких частот при относительно малых емкостях конденсаторов *С1* и *С2*. Емкость *С1* при заданном периоде колебаний *Т* можно определить по формуле $C_1[\text{мкФ}] = 1{,}8\ T[\text{с}]/R_3[\text{мОм}]$.

Емкость конденсатора $C_2$ должна быть равна 0,2 $C_1$. Номиналы других деталей выбирают следующим образом. Сопротивление резистора *R1* берут как можно меньше (обычно $R_1 = 1$ кОм), а сопротивление $R_2$ и $R_4$ вычисляют по формулам $R_2[\text{кОм}] = \beta R[\text{кОм}]$, где $\beta$ — минимальное паспортное значение коэффициента усиления транзистора по току в схеме с общим эмиттером; $R_4[\text{кОм}] = 1{,}8\ R_1[\text{кОм}]$. Резистор *R5* (10 кОм) является ограничительным.

Если указанные соотношения между номиналами деталей соблюдены, то при изменении сопротивления резистора *R3* от 0 до 2,7 мОм частота колебаний мультивибратора изменяется в 150 раз, а форма и длительность отрицательного импульса на коллекторе *Т1* и положительного импульса на коллекторе *Т2* остаются неизменными. В этом случае минимальная частота генерируемых импульсов составляет 0,1 Гц, а максимальная — 15 Гц. Для получения более высоких частот необходимо только уменьшить емкости конденсаторов *С1* и *С2*, не изменяя номиналов других деталей.

Мультивибратор питается от источника постоянного тока с напряжением 4,5 или 6 В. При этом амплитуды напряжения импульсов на коллекторах транзисторов почти равны величине напряжения питания, а потребляемый ток не превышает 6 мА. Если напряжение источника питания составляет 9 или 12 В, сопротивление резисторов *R1*, *R2*, *R4* увеличивают во столько раз, во сколько раз повышено питающее напряжение по сравнению с 6 В.

Генераторы инфранизких частот, у которых минимальная частота составляет 0,1 Гц, а максимальная 10—15 Гц, очень широко используются для управления другими мультивибраторами и совместно с ними могут вырабатывать сложные звуковые сигналы.

# Моделирование «речи» животных

Как вы убедились, схемы «речи» автоматов весьма просты. В них получение нужных сигналов сводится к включению и выключению (манипуляции) задающим мультивибратором генератора тона. Правда, в схеме сирены осуществляется не манипуляция, а модуляция, но по самому простейшему закону — линейному. Эти схемы очень просты в настройке и практически работают сразу же после сборки. Значительно сложнее моделировать даже самую элементарную «речь» животных. Здесь законы модуляции гораздо многообразнее. Например, «лай собаки» выглядит на экране осциллографа как наложение колебаний двух генераторов низкой частоты $f_1$ и более высокой $f_2$ (рис. 49).

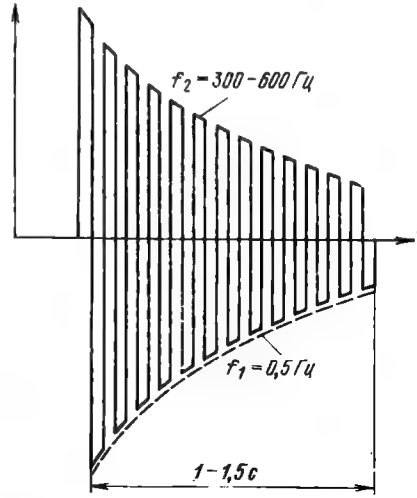
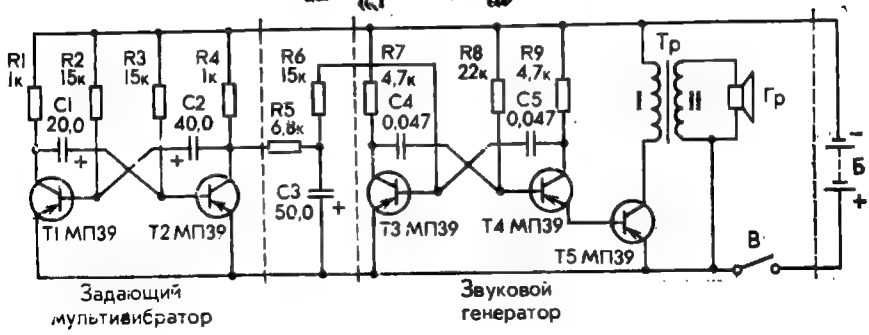


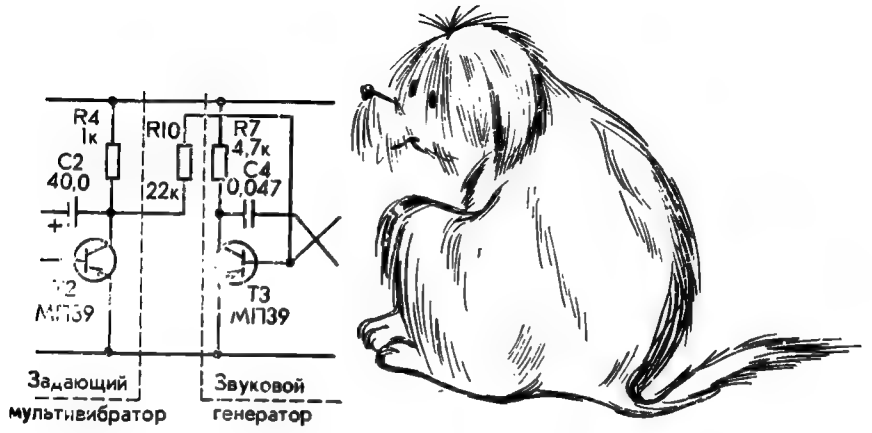
Рис. 49. Осциллограмма «Лай собаки»

«Мяуканье кошки» (рис. 50) выглядит как плавное нарастание сигнала до максимума с последующим плавным спадом. Схему «лая» (рис. 51) получают из схемы «мяуканья», соединяя транзисторы *T2* и *T3* через резистор *R10*.

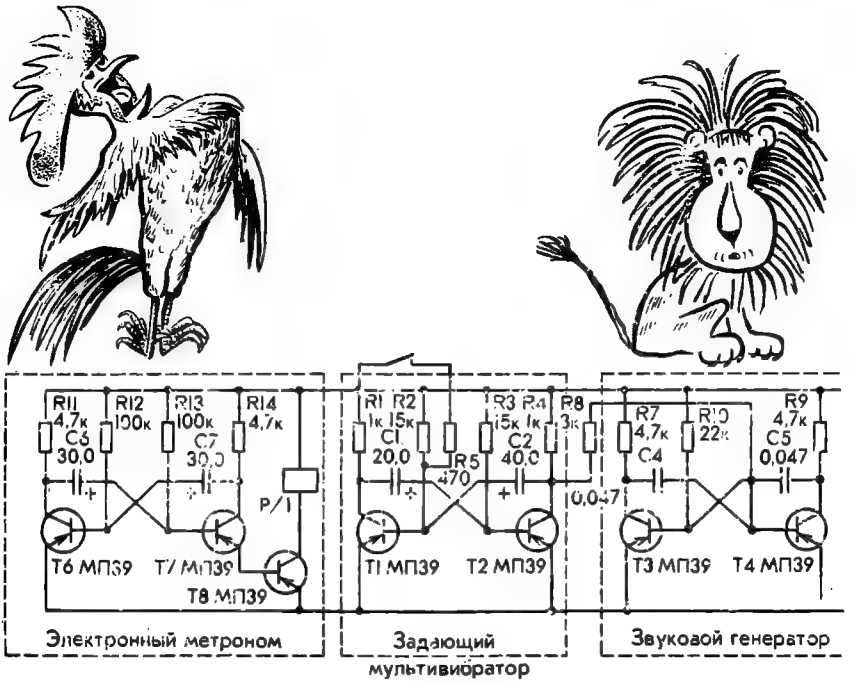
Схема «Пение соловья» (рис. 52) сложнее двух предыдущих схем, но в настройке



Р и с. 50. Схема «Мяуканье кошки»




Р и с. 51. Схема «лая»




Р и с. 52. Схема «Пение соловья»

она значительно проще. В этой схеме эффект трелей соловья достигается периодическим изменением частоты задающего мультивибратора электронным «метрономом», который с интервалами 0,3—0,5 с подключает с помощью реле ($P$) к резистору $R2$ резистор $R_5$.

Не расстраивайтесь, если при первом включении схемы «пения соловья» вы услышите крики петуха или рычание льва. Эта схема требует внимания и выдержки. Сразу, без подбора частот мультивибраторов, она хорошо не работает. Эффект пения значительно усиливается при параллельной работе двух или трех одинаковых схем.

## Моделирование речи человека

Из всех живых существ, населяющих наш мир, только человек оказался способным развить существовавший в рудиментарном состоянии голосовой аппарат для кодирования и передачи сложнейшей информации. Ученые проводят сложнейшие исследования по автоматической расшифровке и имитации звуков речи, но пока еще ее сигналы содержат много загадок и не поддаются распознаванию даже с помощью тончайших анализаторов, использующих самые мощные современные электронные вычислительные машины.

Известны попытки имитации голоса человека с помощью электронных схем. Так, роботостроитель Бруинсма, автор книги «Практические схемы роботов» (М., Госэнергоиздат, 1962), создал для автомата «игра в крестики и нолики» электронную схему, имитирующую восторженный возглас человека при выигрыше автомата и «унылое ворчание» при проигрыше. В схему входит более 10 мультивибраторов и других устройств, однако ее действие оставляет желать много лучшего. Одним словом, моделирование речи человека — очень трудная задача.

Однако мы уже отмечали, что с помощью мультивибраторов можно получать звуки, близкие к звучанию гласных букв (А, О, И). Исследования показывают, что звучания некоторых гласных складываются из двух частот (табл. 2 *), т. е. для моделирования звучания отдельной буквы нужна параллельная работа по меньшей мере двух мультивибраторов. Это сделать не просто, но возможно.

На рис. 53 приведена схема моделирования речи человека, созданная юными техниками на Щелковской СЮТ. Она состоит из четырех ждущих мультивибраторов, каждый из которых манипулирует работой двух мультивибраторов, генерирующих частоты отдельных гласных букв (см. табл. 2). При этом выход каждого мультивибратора из пары подключен к отдельному усилителю низ-

---

* **Гумецкий Р. Я., Деркач М. Ф.** и др. О распознавании гласных звуков речи в модели, использующей инвариантные спектральные признаки фонем. — Проблемы бионики, 1970, вып. 5.

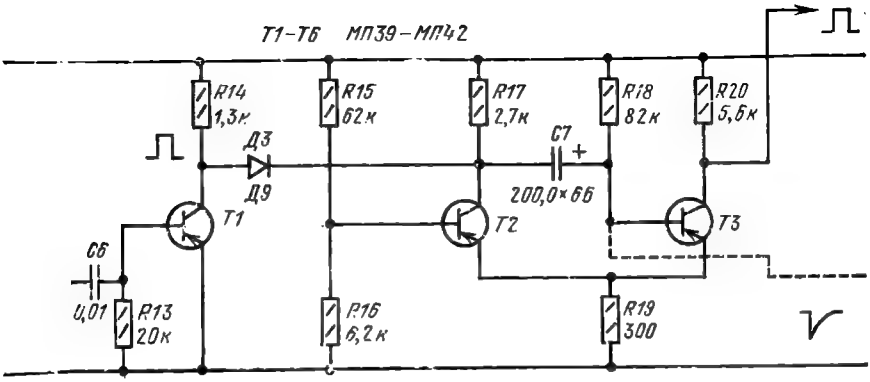



Рис. 53. Схема моделирования

Таблица 2

| Буква | Область основной форманты звучания буквы, Гц | Средняя частота основной форманты звучания, Гц | Буква | Область основной форманты звучания буквы, Гц | Средняя частота основной форманты звучания, Гц |
|---|---|---|---|---|---|
| У | 300—660 | 480 | Э | 1560—2820 | 2190 |
| О | 480—860 | 640 | Ы | 2820—5640 | 4230 |
| А | 720—960 | 840 | И | 2940—5760 | 4350 |

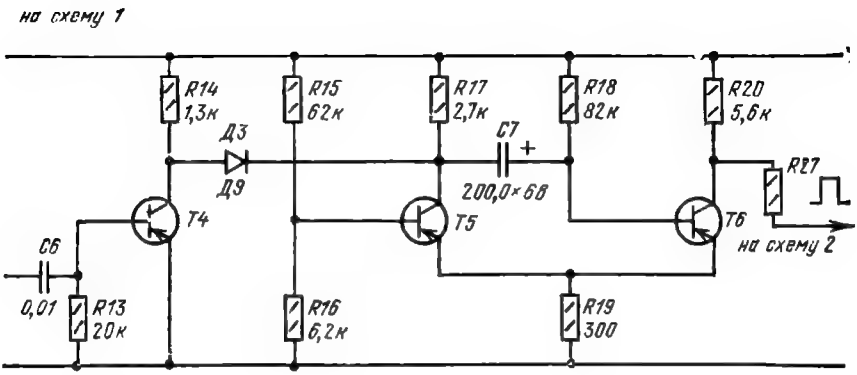
кой частоты. На выходе каждого усилителя имеется динамик. Выходы остальных пар подключены к входам тех же усилителей, так как все пары последовательно работают в разное время. Схема позволяет получать удивительно интересные сочетания звуков, весьма похожие на звуки человеческой речи, а также «речь» животных. Эта схема практически является первой попыткой моделирования речи человека юными техниками.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛУХА

## Бионика и слух

Исключительное значение для роботостроения имеет совершенствование технических приборов, воспринимающих звуковые сигналы. Звук быстро позволяет передавать командные и управляющие сигналы. Разработка новых систем слуха, пригодных для роботов, также основывается на бионических исследованиях.

Способность человеческого мозга разбираться с помощью слухового аппарата в хаосе звуков является одним из его самых чудес-




речи человека

ных свойств. В раскрытии этого свойства, его моделировании кровно заинтересована бионика, пытающаяся внести свой вклад в решение одной из важнейших современных проблем «человек — машина».

«Наивысшим и совершеннейшим человеческим приспособлением» назвал звуковую речь человека выдающийся русский физиолог И. П. Павлов. Физическая природа звуковой речи хранит в себе множество тайн. Как образуются звуки в голосовом аппарате человека, как они воспринимаются слухом и от чего зависит характер звука — вот проблема, на которой акцентированы еще по сей день интересы ученых, работающих в самых разнообразных областях науки. Чтобы машины могли безошибочно выделять какой-то один образ из множества других сходных, нужно точное знание его признаков. Но как выбрать такие признаки? Над решением этой задачи во всем мире работают физиологи и лингвисты, акустики и невропатологи, специалисты по бионике и логопеды, психологи и инженеры, математики и конструкторы.

К сожалению, если фотоэлемент можно назвать грубой моделью органа зрения, то микрофон меньше напоминает органы слуха.

Ученые-бионики, преодолевая трудности, пытаются разгадать секреты слуха человека. К таким секретам относится, например, способность выделять нужный голос среди шума и десятков других голосов. Задача сложная, но нельзя отказываться от нее только потому, что она трудна. Знание природы слухового восприятия у животных может оказаться полезным для решения многих проблем роботостроения. Например, подобно тому, как лягушка получает лишь «избранную» информацию, так и кузнечик, вернее его мозг, получает из всего колоссального потока звуков лишь те, которые имеют для него биологическое значение. Подобная избирательность может оказаться очень полезной для роботов.

Речь состоит из слогов, слов, фраз и т. д. Наименьшим элементом речи является звук (фонема). С физической точки зрения звуки речи различаются и частотой, и интенсивностью, и продолжительностью. В речи нет четких границ между звуками. Одни специалисты пытаются распознавать речь по фонемам, другие — считают, что для этого следует использовать форманты частоты, присущие звучанию каждой буквы, произносимой человеком. Примером удачного решения задачи является фонетическая пишущая машинка, созданная учеными Г. Олсоном и Г. Беларом.

Схему устройства можно рассматривать как сложный аналог слухового аппарата, части мозга, нервной системы и нервно-мышечного аппарата человека, печатающего под диктовку. Бионическая схема человека, печатающего под диктовку, и схема фонетической пишущей машинки показаны на рис. 54. Чтобы понять принцип работы устройства, проследим, как перерабатывается звуковая информация по пути ее следования.

Звуковая энергия улавливается наружным ухом человека, передается по слуховому проходу и воздействует на барабанную перепонку среднего уха. Механическое движение перепонки передается жидкости, заполняющей улитку (внутреннее ухо), при помощи слуховых косточек, которые подобно рычажкам, перемещаются нелинейно. При этом происходит «компрессия» (сжатие) сигнала, т. е. большие амплитуды уменьшаются сильнее, чем малые, причем уменьшение амплитуды пропорционально ее величине.

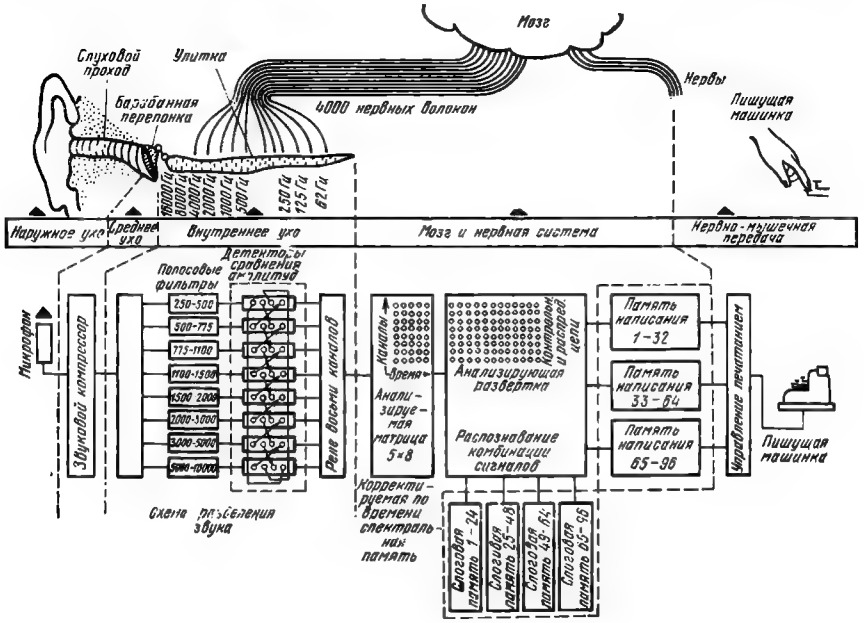



**Рис. 54. Структурная схема человека, печатающего под диктовку, и фонетической пишущей машинки.**

На рис. 54 показано схематическое изображение «развернутой» улитки и показаны частоты, воспринимаемые различными ее участками. Здесь осуществляется первичный анализ информации. Дальнейший ее анализ происходит в мозгу, куда сигналы поступают по слуховому нерву. На основе этого анализа мозг вырабатывает команды, посылаемые мышцам руки, нажимающей на соответствующие клавиши пишущей машинки.

В машине, распознающей речь, голос оператора воспринимается микрофоном и преобразуется в электрические колебания соответствующих частот. Желательно, чтобы результаты распознавания не зависели от громкости произносимых слов и расстояния от микрофона. Для этого в машине применен звуковой компрессор, представляющий собой специальный нелинейный усилитель, который хорошо имитирует работу среднего уха.

После усиления и компрессии речевой сигнал поступает на анализатор частот — систему из восьми полосовых фильтров, охватывающих диапазон 250—10 000 Гц, и систему детекторов сравнения амплитуд. Последняя собрана так, что реле, соответствующее данному каналу, включается лишь тогда, когда уровень в нем больше среднего уровня в двух соседних каналах. Выходной сигнал частотного анализатора поступает в виде двоичного восьмиразрядного кода в корректируемую по времени спектральную память. В ней запоминаются состояния восьмиканальных реле в течение пяти последовательных интервалов времени. Матрица 5×8, соответствующая произнесенному слогу или слову, считывается устройством распознавания комбинации сигналов лишь тогда, когда вся матрица будет полностью образована.

Речь опознается по группе фонем, составляющих слог, а не по отдельным фонемам (так как распознавание многих фонем вне контекста очень трудно). В слоговой памяти хранятся комбинации сигналов, соответствующие различным произношениям одного и того же слога или слова. Осуществляемое устройством распознавание слога представляет собой определенный вид процесса сравнения с имеющимися в слоговой памяти эталонными матрицами звукосочетаний.

Распознавание слога, если оно произведено, вызывает срабатывание того реле из памяти написания, которое связано с написанием данного слога. В памяти написания (орфографической памяти) имеются типовые комбинации сочетания букв, представляющих 40 фонем, для заданных 100 слогов. Реле соединено с шинами очередности следования букв и с шинами кода букв в блоке управления печатанием, который, в свою очередь, управляет работой буквенных приводов. Наконец, происходит печатание выбранных букв.

Таким образом, слово печатается в соответствии с заранее определенным написанием, которое по необходимости должно быть одинаковым для одинаково звучащих слов. Именно поэтому устройство и было названо «фонетической пишущей машинкой».

По данным Г. Олсона и Г. Белара, для того чтобы в английской речи понять 98% произносимых слов и фраз, достаточно иметь память приблизительно на 2000 слогов. При этом орфография оказывается правильной примерно в 85% случаев. По расчетам М. А. Сапожкова, для русской речи нет необходимости в таком объеме памяти, так как фонетическая и печатная формы русских слов различаются в значительно меньшей степени, чем английских (требуется память на 300 звукосочетаний типа СГ и ГС и около 100 звукосочетаний со сложными консонансами).

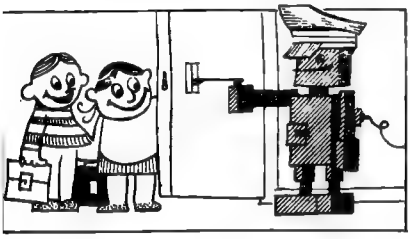
Несколько моделей машинок, пишущих с голоса, сконструировал научный сотрудник Женевского университета Дрейфус-Граф. Текст читается в микрофон. Звуки, из которых состоят слова анализируются электронным «мозгом», и каждый звук превращается в электрический сигнал. Эти сигналы приводят в действие рычаги электрической пишущей машинки. Как утверждает изобретатель, последнюю модель его пишущей машинки можно «научить» писать со скоростью стенографистки высшей квалификации.

Над созданием пишущих машинок, печатающих под диктовку, работают и советские ученые ряда научно-исследовательских организаций. Достигнутые в последние годы успехи в этой области позволяют надеяться, что в ближайшее время появятся сначала промышленные образцы фонетических машинок, затем будет организован серийный выпуск пишущих машинок-автоматов, обеспечивающих правильную орфографию. А отсюда уже один шаг до устройств, которые станут составной частью переводческих машин. Когда же наши машины в достаточной степени обогатят свой словарный запас (а это время, надо полагать, не очень далеко), они смогут производить синхронный перевод на несколько иностранных языков.

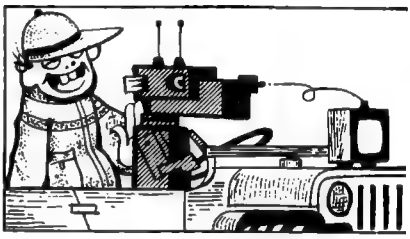
Значительная и даже, пожалуй, основная часть исследований, проводимых в США в области распознавания речи, посвящена созданию квазислуховых автоматов для военных целей. Так по контракту с Министерством обороны США одна фирма разработала «обучающуюся» машину «Кибертрон» типа К-100, предназначенную для распознавания сигналов гидролокационного устройства. Процесс самообучения проводится сравнением записей на перфоленту блока памяти сигналов, создаваемых звуколокационным устройством, с последующей записью других сигналов, например сигналов, создаваемых надводным кораблем, которые по своему частотному спектру близки к сигналам от подводных лодок. Машина сравнивает эти сигналы и выдает ответ. Процесс повторяется до тех пор, пока ответ не будет правильным. Обученная таким образом система, по сообщениям американской печати, обеспечивает быстрое и правильное распознавание шумов подводных лодок с ошибкой, не большей, чем у самого опытного оператора гидролокационной станции. Кроме машины типа К-100 фирма разработала другой вариант — «Кибертрон» типа К-200, предназначенный для распознавания слов английской речи.

Действующие, проектируемые и перспективные приборы для опознавания речи можно разделить на несколько видов. Мы дали им совершенно условные названия

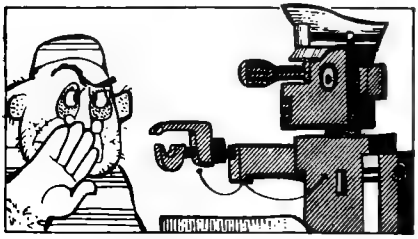
«Сезам» — схема, в которой реализовано сказочное заклинание «Сезам, откройся!». Реагирует только на одно, два или три слова,



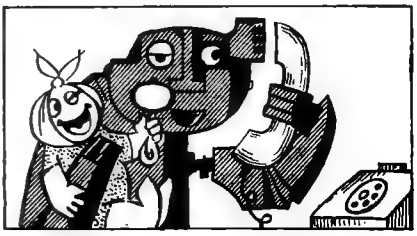
Р и с. 55. «Сезам»



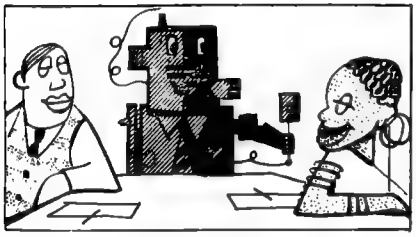
Р и с. 56. «Жучка»



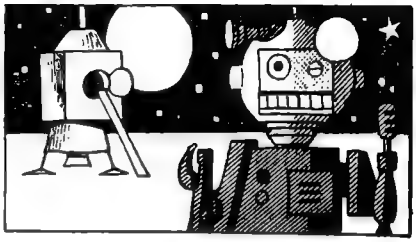
Р и с. 57. «Эксперт»



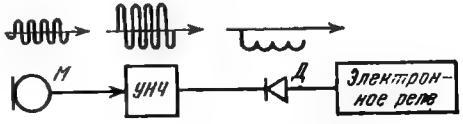
Р и с. 58. «Собеседник»



Р и с. 59. «Переводчик»



Р и с. 60. «Полный робот»




ис. 61. Структурная схема акустического реле

но произнесенные любыми голосами. Может, если угодно, в самом деле открывать дверь в вашем подъезде (рис. 55).

«Жучка» — устройство (рис. 56), хорошо понимающее краткий командный язык из двух-трех десятков слов. Обычно оно натренировано на голос одного оператора. Как мы уже отметили, такой прибор способен управлять автомобилем или самолетом. Одна американская фирма успешно применила его в отделе технического контроля для записи параметров только что изготовленных цветных кинескопов. Другая фирма заставила «Жучку» запоминать свободные места в большом складском помещении и отправлять туда прибывающие контейнеры. Прибор незаменим при сложных научных экспериментах, когда надо записывать результаты, а руки исследователя заняты на пульте управления или облачены в резиновые перчатки.

«Эксперт» — анализатор для выделения голоса одного из нескольких говорящих. Может помочь при опознании преступника, стать настройщиком музыкальных инструментов или контролером качества звучания радиоприемников, телевизоров и магнитофонов (рис. 57).

«Собеседник» — его действия могут быть самыми разнообразными: совет по телефону, когда врач сомневается в постановке диагноза, устный ответ программисту о результатах вычислений на ЭВМ, ответ на запрос о состоянии текущего счета в банке и т. п. Другая модификация — электронный секретарь, соединенный с пишущей машинкой (рис. 58).

«Переводчик» — название устройства не требует комментариев. Это искусственное ухо, подключенное к ЭВМ с программой автоматического перевода с одного языка на другой (рис. 59).

«Полный робот» — автомат, двигающийся впереди человека в опасных ситуациях. Подчиняется голосовым командам и докладывает о ситуации пославшим его людям. Мог бы помочь во время ремонта атомного реактора или путешествия на малоизученную планету (рис. 60).

Человеческое ухо существует в одном варианте. Искусственных, как видим, намечается несколько. Тем лучше! В том-то и сила техники, что она не копирует слепо природу.

## Техническое моделирование систем слуха

Начинать конструирование моделей слуховых систем лучше всего с простейшего акустического реле (рис. 61).

Микрофон (М) выполняет роль датчика. Он преобразует звуковой сигнал в электрические колебания, а усилитель низкой частоты (УНЧ) усиливает их. После детектирования (диод *Д*) сигналы вызывают срабатывание электромагнитного реле.

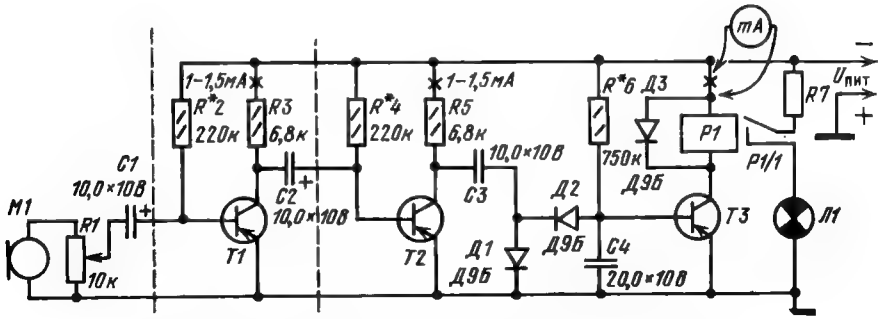
Принципиальная схема такого варианта акустического реле изображена на рис. 62. Каскады на транзисторах *Т1* и *Т2* образуют простой УНЧ, а диоды *Д1* и *Д2* — детектор. Эти устройства знакомы вам по транзисторным приемникам прямого усиления. Здесь

диоды выпрямляют колебания НЧ. Транзистор *Т3*, резистор *R6* и электромагнитное реле *Р1* с диодом *Д3*, шунтирующим обмотку реле, образуют электронное реле, а лампочка *Л1* с резистором *R7* — исполнительную цепь

Автомат работает так. Пока в помещении, где установлен микрофон, сравнительно тихо, в коллекторной цепи транзистора *Т3* течет небольшой ток покоя (меньше тока отпускания реле *Р1*), устанавливаемый при налаживании автомата. В это время контакты *Р1/1* реле *Р1* разомкнуты и, следовательно, исполнительная цепь выключена. При появлении звукового сигнала (громкий разговор, шум и т. п.) колебания низкой (звуковой) частоты от микрофона усиливаются *Т1* и *Т2* и с нагрузочного резистора *R5* поступают на выпрямитель. Отрицательные полуволны выпрямленного напряжения (см. графическое изображение над диодом (*Д*) на рис. 61) подаются на базу транзистора *Т3* и одновременно заряжают конденсатор *С4*. Если звуковой сигнал достаточно сильный и конденсатор зарядится до напряжения 0,25—0,3 В, то коллекторный ток транзистора увеличится настолько, что реле *Р1* сработает и включит исполнительную цепь. Когда разговор перед микрофоном прекратится, конденсатор *С4* почти полностью разрядится, коллекторный ток транзистора *Т3* уменьшится до исходного значения, реле *Р1* отключится, а его контакты *Р1/1*, разомкнувшись, обесточат исполнительную цепь.

Какова роль резистора *R1*? С его помощью изменяют уровень сигнала, поступающего от микрофона на вход УНЧ, и тем самым регулируют чувствительность акустического реле

Электромагнитное реле может быть типа РЭС-10, РЭС-9, РЭС-1, РНК с током срабатывания до 30—40 мА. Напряжение источника питания $U_{пит}$ должно быть на 20—30% больше напряжения срабатывания используемого электромагнитного реле. Транзисторы — любые маломощные низкочастотные *p—n—p*-типа (МП39—МП42) с коэффициентом усиления не менее 20. Если напряжение источника питания более 15 В, но не больше 30 В, то транзистор *Т3* должен быть типа МП40А, МП25, МП21.




**Р и с. 62. Принципиальная схема акустического реле**

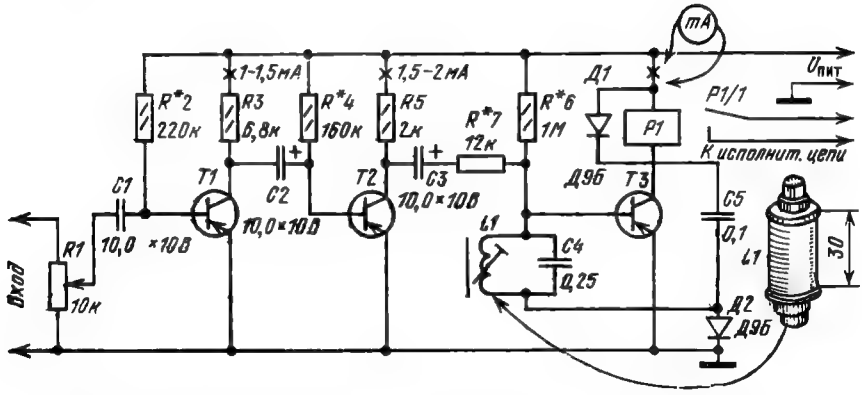
Номиналы резисторов *R3* и *R5*, являющихся нагрузками транзисторов *T1* и *T2* усилителя, могут быть в пределах 4,7—8,2 кОм. Сопротивление и мощность рассеяния резистора, зависящие от используемой лампочки *Л1*, рассчитайте сами.

Транзистор *T1*, резисторы *R2*, *R3* и конденсатор *C2* (на рисунке заштрихованы) пока не монтируйте, чтобы испытать автомат с однокаскадным усилителем, но обязательно оставьте для них место. Конденсатор *C1* соедините отрицательной обкладкой непосредственно с базой транзистора *T2*.

Сначала, включив в коллекторную цепь транзистора *T3* миллиамперметр и подобрав резистор *R *6*, установите в этой цепи ток не более 2—4 мА. Он должен быть меньше тока отпускания реле. Затем подключите параллельно резистору *R *6* другой резистор сопротивлением 15—20 кОм. При этом коллекторный ток должен резко увеличиться, а реле сработать. Удалите второй резистор — коллекторный ток должен уменьшиться до исходного значения, а реле отпустить якорь Так вы проверите, работает ли электронное реле автомата.

Режим работы транзистора усилителя *T2* устанавливайте так же, как в подобных каскадах приемника, — подбором резистора в базовой цепи (в нашем случае резистора *R4*). Ток покоя коллекторной цепи транзистора может быть в пределах 1—1,5 мА.

А теперь подключите к входному резистору *R1* микрофон, например, типа МД-47 или абонентский (радиотрансляционный) электродинамический громкоговоритель, который будет выполнять роль микрофона. Движок резистора установите в верхнее положение. Следя за показаниями миллиамперметра в коллекторной цепи транзистора *T3*, громко произнесите перед микрофоном (или перед диффузором громкоговорителя) протяжный звук «а-а-а». Коллекторный ток транзистора должен при этом увеличиться, а реле срабатывания включить исполнительную цепь. Автомат, следовательно, работает.




Р и с. 63. **Принципиальная** схема селективного акустического реле

Характерная особенность второго варианта (рис. 63) акустического реле — селективность, т. е. избирательность. Как это понимать? Если предыдущее реле срабатывало при любом звуковом сигнале, независимо от его частоты, то это реле чувствительно в основном лишь к сигналу той частоты, на которую оно само настроено.

Как работает такое электронное реле? Вы знаете, что сопротивление колебательного контура для сигналов различных частот неодинаково. Для колебаний, частоты которых совпадают с собственной частотой контура, оно во много раз больше, чем для колебаний всех других частот. Это свойство колебательного контура и лежит в основе принципа этого варианта акустического реле.

Допустим, что собственная частота контура *L1C4* равна 1000 Гц, а от УНЧ на вход электронного реле поступает сигнал частотой, скажем, 300 Гц. Для сигнала такой частоты сопротивление контура чрезвычайно мало, все его напряжение падает (теряется) на резисторе *R* *7. Но если частота входного сигнала равна или близка 1000 Гц, для которой сопротивление контура велико (значительно больше сопротивления резистора *R* *7), то почти все напряжение сигнала будет выделяться на контуре и усиливаться транзистором *T3*. Усиленный низкочастотный сигнал снимается с обмотки реле *P1* и через конденсатор *C5* подается на диод *Д2* для выпрямления.

**При конструировании различных моделей, управляемых голосом, часто используют акустические автоматы, включающие исполнительные механизмы при подаче звукового сигнала. Источником сигнала может быть свисток, хлопок в ладоши или громко сказанное слово, например, «Свет!».**

**Познакомимся с весьма удачной схемой такого автомата для** включения различных механизмов, который можно использовать для дистанционного управления роботом.

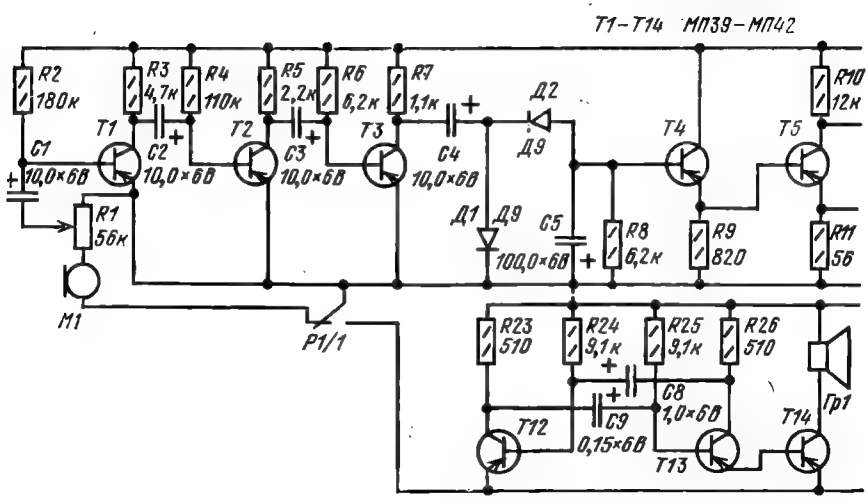
Исполнительным узлом может быть магнитофон, управляемый выходным реле автомата. Тогда, если записать на магнитную ленту определенную программу ответов, автомат будет «отвечать» на вопросы. Выходное реле автомата срабатывает сразу после окончания звукового сигнала, удерживается в таком режиме несколько секунд и тут же выключается. Автомат состоит из микрофона, УНЧ, выпрямителя, интегратора, эмиттерного повторителя, триггера Шмитта, импульсного усилителя, ждущего мультивибратора и исполнительного узла.

Принципиальная схема автомата показана на рис. 64 *). Транзисторы *T1—T3* образуют трехкаскадный усилитель НЧ, усиливающий сигнал, поступающий на его вход от микрофона М1. Во время работы исполнительного механизма микрофон отключается от входного усилителя контактами Р1/1 выходного реле *P1*, иначе громкоговоритель *Гр1* исполнительного узла звуковым сигналом будет включать автомат. Чувствительность усилителя НЧ регулируют переменным резистором *R1*.

*) Акустический автомат разработан Н. Дробницей.

Выпрямитель на диодах *Д1* и *Д2* преобразует выходной сигнал УНЧ в пульсирующий ток отрицательной полярности, который заряжает конденсатор *С5* интегратора. Для увеличения времени разряда этого конденсатора служит каскад на транзисторе *Т4*, включенном по схеме эмиттерного повторителя. Большое входное и малое выходное сопротивления этого каскада необходимы для работы следующего узла автомата — триггера Шмитта на транзисторах *Т5* и *Т6*. Пока напряжение на базе транзистора *Т5* не превышает падения напряжения на резисторе *R11*, включенном в цепь эмиттеров транзисторов *Т5* и *Т6*, транзистор *Т5* закрыт, а транзистор *Т6* открыт. Как только напряжение на базе транзистора *Т5* превысит падение напряжения на резисторе *R11*, транзистор *Т5* начинает открываться, а *Т6* закрываться. Закрывание транзистора *Т6* приводит к уменьшению падения напряжения на резисторе *R11*, что способствует открыванию транзистора *Т5*. В результате происходит переход транзисторов *Т5* и *Т6* из одного режима в другой. При понижении напряжения на базе транзистора *Т5* транзисторы триггера переключаются в начальное состояние.

Импульсный усилитель на транзисторе *Т7* служит для получения положительного импульса, который используется для запуска ждущего мультивибратора на транзисторах *Т8* и *Т9*. На его вход подается отрицательный импульс, образованный спадом импульса триггера Шмитта при открывании транзистора *Т6*. Одиночные импульсы длительностью 1,5—3 с, создаваемые ждущим мультивибратором и усиливаемые транзисторами *Т10* и *Т11*, используются для включения выходного электромагнитного реле *Р1* автомата. Это реле, являющееся нагрузкой транзистора *Т11*, срабатывая, контактами *Р1/1* отключает микрофон и включает исполнительный узел.




Р и с. 64. Принципиальная схема

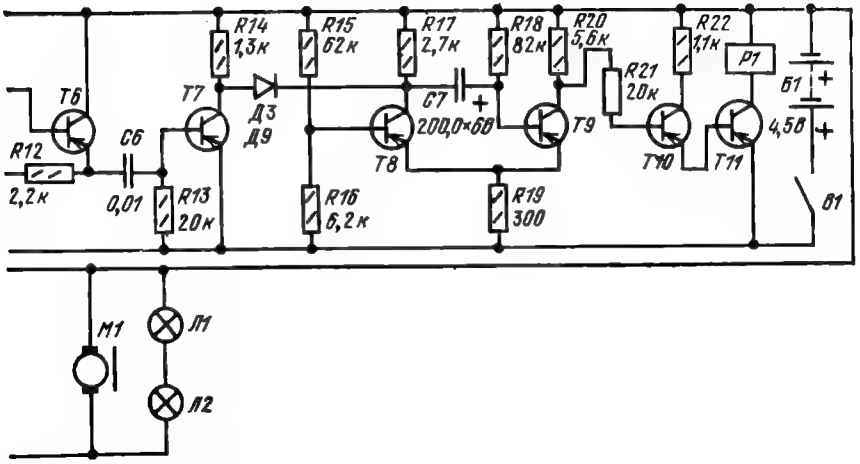
Исполнительный узел обеспечивает подачу звукового и светового сигналов. В него входят: мультивибратор на транзисторах *Т12* и *Т13* с усилителем тока на транзисторе *Т14*, громкоговоритель *Гр1*, электродвигатель *М1* и сигнальные лампочки *Л1* и *Л2* (например, «глаза» робота). Для уменьшения тока, потребляемого громкоговорителем, скважность импульсов мультивибратора около шести. Узкий отрицательный импульс используется для открывания транзистора *Т14*, нагрузкой которого служит громкоговоритель.

*Детали.* Для автомата используются любые маломощные низкочастотные транзисторы с коэффициентом $B_{ст}=30—40$; диоды *Д1—Д3* типа Д9 с любым буквенным обозначением; резисторы типа МЛТ-0,25, конденсаторы К52-1,КЛС. Роль микрофона может выполнить любой головной телефон, например ТОН-2.

Реле *Р1* типа РЭС-10, паспорт РС4, 524, 304, с несколько ослабленными пружинами, чтобы оно срабатывало при напряжении 3 В. Если использовать реле РЭС-10 другого паспорта, его обмотку надо удалить, а вместо нее намотать провод ПЭВ-1, 0,12 до заполнения каркаса Громкоговоритель может быть любого типа.

Источником питания автомата служит батарея 3336Л или три элемента 373, соединенные последовательно.

*Налаживание.* После проверки монтажа по принципиальной схеме подбором резисторов *R2*, *R4* и *R6* устанавливают на коллекторах транзисторов *Т1—Т3* напряжения, равные 2,3 В. Затем проверяют работу УНЧ. Для этого к конденсатору *С5* подключают высокоомный вольтметр с пределом измерений 5—10 В и подают на входы усилителя сигнал от микрофона. Напряжение на конденсаторе интегратора должно плавно увеличиваться до 1—1,5 В, а после прекращения сигнала плавно уменьшаться.




акустического автомата

Потом проверяют триггер Шмитта. На это время вход усилителя замыкают, между коллектором транзистора *T3* и базой транзистора *T5* включают переменный резистор на 20—30 кОм, а между эмиттером транзистора *T6* и положительным источником питания — вольтметр. С уменьшением сопротивления переменного резистора, когда транзистор *T4* открывается, падение напряжения на резисторе *R9* должно увеличиваться, а с увеличением его сопротивления, наоборот, уменьшаться. При напряжении 0,1—0,2 В на базе транзистора *T4* триггер должен сработать, при этом транзистор *T6* закроется и стрелка вольтметра вернется к нулевой отметке.

Напряжение на коллекторе транзистора *T7* импульсного усилителя должно быть равно напряжению источника питания. Работу этого каскада автомата можно исследовать только с помощью низкочастотного осциллографа.

Ждущий мультивибратор налаживают следующим образом. Сначала, измеряя напряжение на участке эмиттер — коллектор транзистора *T9*, проверяют, открыт ли транзистор. При открытом транзисторе это напряжение не должно превышать 0,1—0,2 В. Если напряжение больше 0,2 В, то уменьшают сопротивление резистора *R18*. Затем подбирают резистор *R15*, добиваясь, чтобы транзистор *T8* закрылся.

Длительность импульса ждущего мультивибратора зависит от емкости конденсатора *C7* и сопротивления резистора *R18*. Регулировать выдержку времени только увеличением сопротивления резистора *R18* нежелательно, так как транзистор *T9* при $B_{ст} < 30$ полностью не откроется.

При кратковременном соединении коллектора транзистора *T7* с его эмиттером ждущий мультивибратор должен запускаться, а электромагнитное реле *P1* срабатывать. С помощью таких устройств можно сделать систему звукового управления роботом или его ЭВМ.

Система звукового управления включает в себя небольшой переносный электронный генератор звуковых команд и установленное в модели робота приемное устройство.

На рис. 65 показана схема генератора звуковых команд, а на рис. 66 приемного устройства звуковых команд. С помощью первой схемы можно различать звуки, а с помощью второй — вычислительная машина робота может выполнять команды, поданные звуковым генератором с расстояния 8—10 м.

Схема переносного генератора звуковых команд состоит из трех мультивибраторов, генерирующих частоты 480, 640 и 840 Гц, двухтактного усилителя сигналов мультивибраторов и выходного динамика.

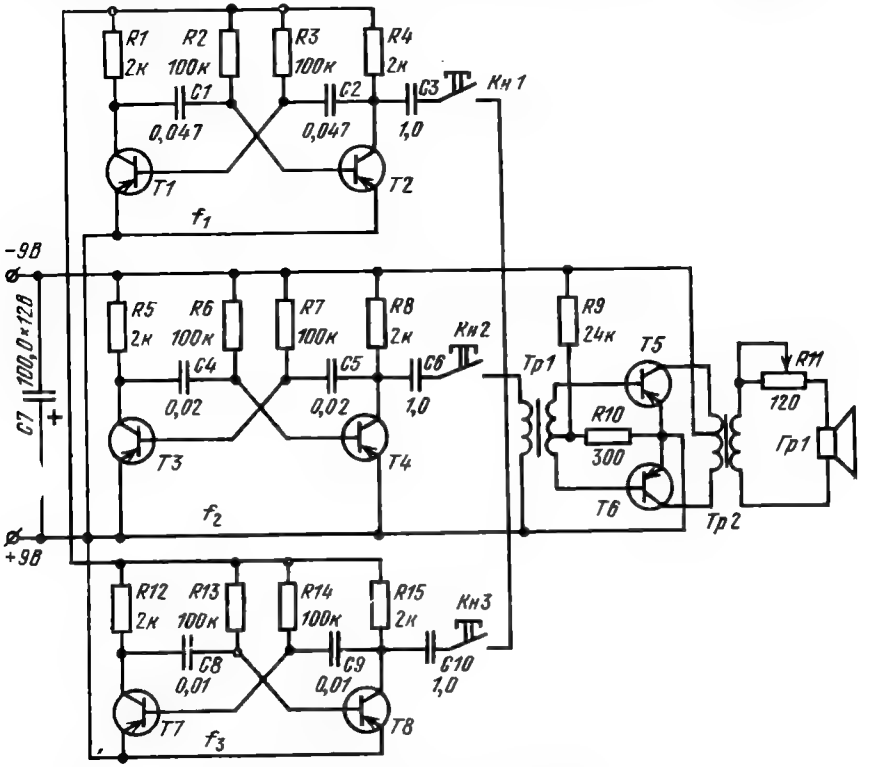
Выходы мультивибраторов подключаются к усилителю сигналов через контакты трех кнопок. При такой системе с помощью первого генератора подаются команды на «сложение» ($f_1 = 480$ Гц), с помощью второго — на «сброс» ($f_2 = 640$ Гц); при нажатии третьей кнопки на усилитель, а следовательно, и в динамик поступает сигнал на «вычитание» ($f_3 = 840$ Гц). Три отдельных мультивибратора

с самостоятельным включением обеспечивают четкую работу системы телеуправления. Но при необходимости схему можно упростить, поставив только один мультивибратор с переключающимися конденсаторами и резисторами.

В зависимости от расстояния между передатчиком и приемником мощность выходного динамика может быть выбрана от 0,1 до 3—5 Вт. В последнем случае придется собирать двухтактный усилитель на большую мощность (например, по схеме усилителя приемника «Спидола»).

В схеме приемного устройства звуковых команд робота (рис. 66) сигналы команд, воспринимаемые динамическим микрофоном М, усиливаются двумя каскадами на транзисторах *Т1* и *Т2* (МП103), а затем через эмиттерный повторитель (на транзисторах *Т3* (П16)) поступают на входы трех фильтров, настроенных на частоты 480, 640 и 840 Гц.

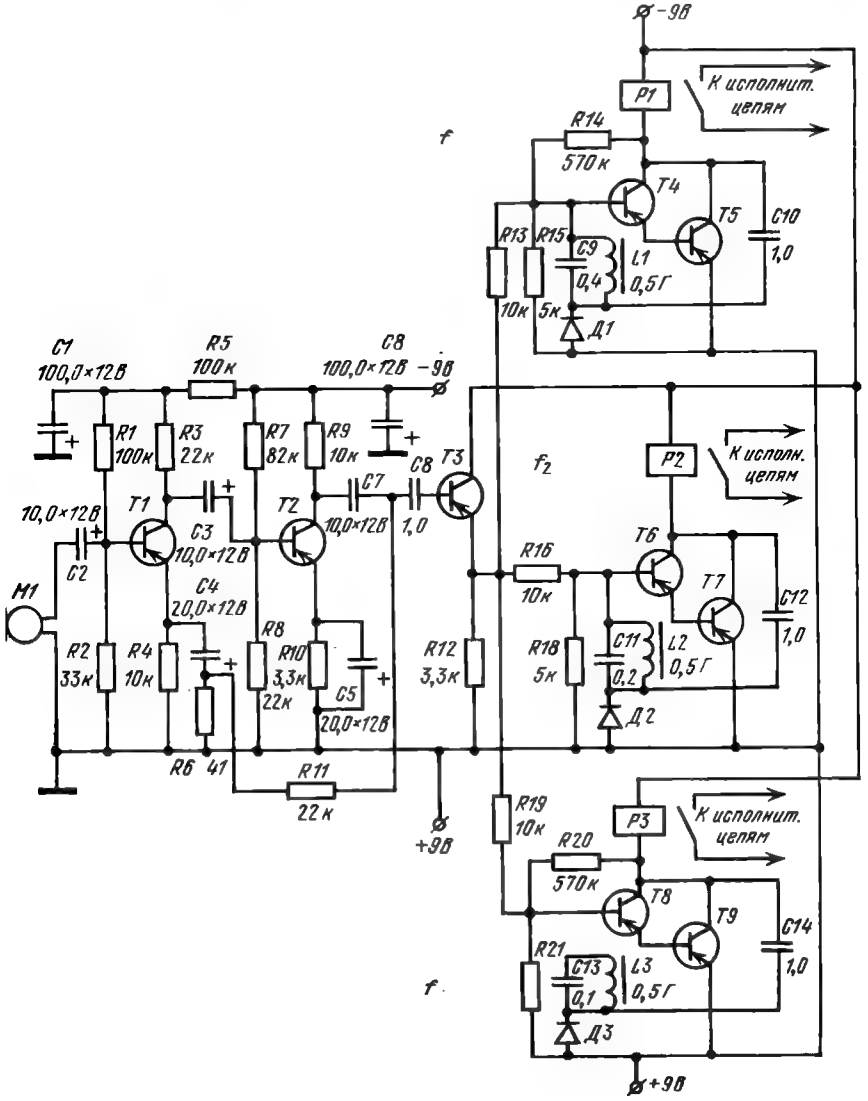
Для выбранного диапазона частот можно использовать катушки индуктивности с сердечниками на ферритовых тороидальных кольцах с магнитной проницаемостью 1000—2000 и наружным диаметром 10—13 мм. Для получения индуктивности порядка 0,5 Гц необходимо намотать внавал около 1000 витков провода ПЭ 0,08—0,1.




**Р и с. 65. Генератор звуковых команд**

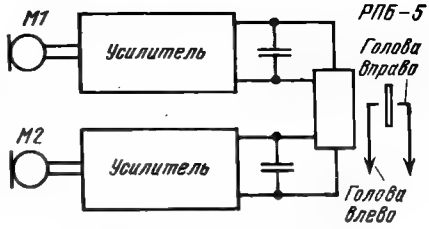
Резонансная емкость контура для частоты 840 Гц должна быть порядка 0,1 мкФ, для 640 Гц 0,2—0,25 мкФ и для 480 Гц 0,4—0,5 мкФ.

Настраивать резонансные контуры на выбранные частоты командных мультивибраторов лучше всего с помощью звукового генератора и осциллографа. Но в крайнем случае можно обойтись миллиамперметром на 30—50 мА, включенным в цепь выходного реле схемы. Настройка идет по максимуму показаний прибора, когда на вход схемы подаются сигналы с мультивибраторов.




Р и с. 66. Приемное устройство звуковых команд

Вот фактически и весь канал телеуправления от генераторов звуковых команд до выходных реле приемных устройств. К ним подключается дешифратор — электромагнитный шаговый искатель. Посмотрим, как он используется для операции сложения.




Р и с. 67. Устройство «слуха»

Допустим, командная кнопка Кн1 (см. рис. 65) нажата три раза — движок искателя переместится на три ламели. Если вслед за этим набрать цифру 7, то искатель переместится на десятую ламель, если 8 — то на одиннадцатую и т. д. Подавая через ламели шагового искателя напряжение, включающее светящиеся цифры от 1 до 10 или 20, мы «научим» модель робота, например, решать простейшие задачи на сложение.

Задачу на вычитание робот может решить только с помощью искателя, имеющего обратный ход. На частоте 180 Гц набирается уменьшаемое число, а на частоте 840 Гц — вычитаемое. Ламель искателя останавливается на разность. При команде «Сброс» искатель приходит в нулевое, начальное положение.

Если выходные контакты искателя связать с исполнительными механизмами робота, то с помощью звукового генератора можно управлять не только его «математическими способностями», но и всем механизмом.

Используя по два микрофона, усилителя и поляризованных реле, можно сделать устройство «слуха» (рис. 67), поворачивающее голову робота в сторону источника звука.

Звуковое управление можно осуществлять свистком, свирелью или голосом. Наиболее четко схемы «слуха» работают при использовании в качестве источника сигналов электронного генератора стабильных звуковых команд. Он размещается в пульте управления роботом. Но это не обязательно. Его можно вмонтировать в электросаксофон, с которым удобнее вести музыкальную «беседу» с роботом.

## Чудеса активных *RC*-фильтров

Электрические фильтры являются одними из основных элементов различных радиоэлектронных систем. Это обусловлено тем, что во многих областях науки и техники (радиотехника, акустика, различные отрасли машиностроения, медицина, системы телеметрии и телеуправления) используются процессы, имеющие спектры в диапазоне низких и инфранизких частот.

Во всех этих случаях возникает необходимость выделения сигналов, имеющих определенные частотные свойства с помощью электрических фильтров.

Обычные индуктивно-емкостные фильтры в виде резонансных контуров в диапазоне инфранизких частот неприменимы из-за низкой избирательности, больших габаритов и веса, а также подверженности влиянию магнитных полей.

Пассивные *RC*-фильтры из резисторов и конденсаторов имеют малые габариты и в диапазоне низких частот, но для обеспечения достаточно высокой избирательности требуют большого числа элементов и громоздких схемных структур. Кроме того, они имеют большое затухание сигналов в полосе пропускания.

Значительно большие возможности моделирования систем слуха открываются при использовании так называемых активных *RC*-фильтров, которые в последнее время во всех серьезных разработках окончательно вытеснили *LC*-фильтры.

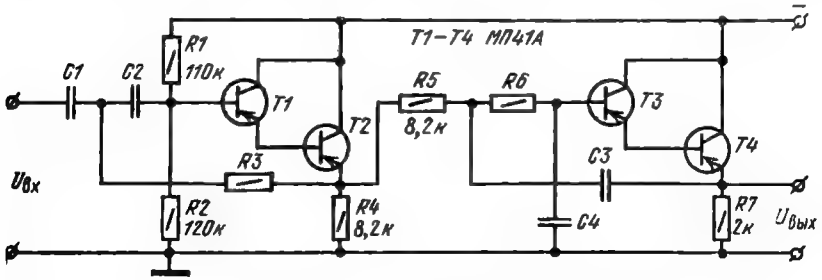
На низких частотах пассивные *LC*-схемы оказываются неудовлетворительными, так как для достижения добротности $Q$ порядка 100 необходимы катушки индуктивности значительных габаритов. Активные фильтры можно изготовлять в виде электронных схем, которые позволяют реализовать любое требуемое значение добротности фильтра.

Объединение пассивных *RC*-цепей с электронными устройствами, образующее активные *RC*-фильтры, обеспечивает высокую избирательность при достаточно малом весе и габаритах. В настоящее время они являются единственным классом электрических фильтров, имеющих высокую избирательность в диапазоне инфранизких частот.

Наибольшее распространение активные *RC*-фильтры получили в связи с развитием микроминиатюризации, когда совершенно отпала проблема габаритов таких фильтров из-за большого количества входящих в них транзисторов и других деталей.

Активный фильтр — это просто транзистор, соединенный с пассивной *RC*-цепью. При их проектировании нет необходимости привязывать к заданным импедансам (входным и выходным сопротивлениям) источник и нагрузку, как это приходится делать при пассивных фильтрах, где любые отклонения указанных значений от номинальных влияют на электрические характеристики фильтра.

Другим существенным преимуществом активных фильтров по сравнению с пассивными является то, что ослабление сигнала меж-




Р и с. 68. Схема активного фильтра

ду входом и выходом фильтра получается весьма незначительным. Поэтому активные *RC*-фильтры пригодны для использования в очень широком классе схем. Например, их можно использовать в качестве фильтров нижних частот с весьма низкой (порядка 1 Гц) частотой среза и добротностью заведомо выше 100. Активные фильтры можно успешно применять в схемах, которые сочетают функции модуляции, выпрямления и фильтрации, и в других устройствах, где нельзя использовать катушки индуктивности из-за индуктивных наводок. Слуховые системы с активными *RC*-фильтрами используются для обнаружения шума — штормовых волн на расстоянии более 300 км. Их широко применяют при исследовании биотоков мозга и снятии энцефалограмм. С их помощью решаются задачи распознавания речевых сигналов в моделях органов слуха и т. п.

Однако теоретические достоинства активных *RC*-фильтров — это одно, а использование их в практике — это другое. Изготовление надежных активных *RC*-фильтров оказалось делом гораздо более сложным, чем на первых порах представлялось разработчикам.

Прежде всего для таких фильтров необходим специальный тщательный подбор деталей с малым разбросом параметров (особенно конденсаторов и резисторов). Важно также исключить долговременный дрейф транзисторов и пассивных элементов, входящих в состав устройства.

На рис. 68 приведена схема активного полосового фильтра, составленного из активных фильтров НЧ и ВЧ с избирательностью 14—15 дБ на октаву и коэффициентом передачи 1,0—1,3.

В табл. 3 приведены значения элементов фильтров для различных полос пропускания.

Как видно из таблицы, фильтры с широкой полосой пропускания могут определить регистр, в котором находится данный звук. Для анализа мелодии, когда анализатор должен реагировать на появление каждой ноты, необходимо применять фильтры с еще большей добротностью. Полоса их пропускания должна лежать в пределах 1—2 Гц для самых низких частот музыкального диапазона и 200—300 Гц для высоких

Таблица 3

| Полоса пропускания, Гц | Емкость, мкФ | | | | Сопротивление, кОм | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | *C1* | *C2* | *C3* | *C4* | *R5* | *R6* |
| 50—100 | 0,2 | 0,1 | 1,0 | 0,057 | 10 | 5,6 |
| 100—200 | 0,11 | 0,35 | 0,4 | 0,03 | 8,2 | 8,2 |
| 200—400 | 0,057 | 0,015 | 0,2 | 0,015 | 9,1 | 8,2 |
| 400—800 | 0,03 | 0,01 | 0,1 | 0,0068 | 8,9 | 8,2 |
| 800—1600 | 0,0115 | 0,0068 | 0,05 | 0,0033 | 5,6 | 6,8 |
| 1600—3200 | 0,0084 | 1000 | 0,025 | 0,0015 | 6,8 | 7,5 |

Активный *RC*-фильтр, схема которого приведена на рис. 68, можно успешно использовать при конструировании цветомузыкальных систем. Как показала практика, эта схема в отличие от многих схем, рекомендуемых для фильтрации частот в цветомузыкальных устройствах, является весьма практичной. В ней сравнительно немного транзисторов и деталей, и она обеспечивает хорошую фильтрацию даже при значительном разбросе параметров деталей схемы.

## Тайна пляшущих человечков

Мы познакомили читателя с различными электронными схемами, с помощью которых моделируют системы слуха. С этим багажом можно уверенно двигаться вперед — использовать модели в создании роботов, принцип работы которых основан на сложных процессах управления. Можно создать увлекательные модели, «понимающие» различные сигналы и даже умеющие танцевать под музыку. Представьте себе куклу и даже робота, отплясывающих веселый танец под музыку. Такие чудесные модели еще не созданы, но они вполне осуществимы.

Звуки, организованные в музыку, отличаются громкостью, ритмом, тембром и тональным развитием. Для различных сочетаний этих признаков можно найти общие танцевальные движения, составить таблицы матричного типа и установить с их помощью закономерные связи звучаний музыки и движений в танце. Затем с помощью электронных схем и *RC*-фильтров создать анализирующие устройства, различающие не только тембр звучания, но и отдельные музыкальные ноты, и с помощью логических устройств научиться управлять движениями модели.

Возможно, что вам и матрицу составлять не придется, — это уже сделано в Советском Союзе энтузиастом, мурманским врачом А. П. Волышевым, который уже давно разработал систему для записи движений человека — мотографию.

Элементы мотографической системы состоят из пяти ведущих знаков, трех пар линеек и нескольких десятков дополнительных знаков, не превышающих числа нотных знаков в музыке. Пример записи некоторых движений показан на рис. 69.

В качестве иллюстрации использования мотографии приводим пример записи работы каменщика (рис. 70). Следует отметить, что

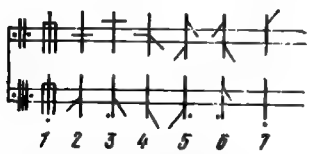



Рис. 69. Пример записи некоторых движений

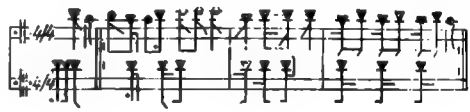


Рис. 70. Мотография записи работы каменщика

в записи работы каменщика учтено расположение кирпича слева от каменщика, а связывающей смеси справа от него. Каменщик держит мастерок в правой руке. На рисунке приведена запись переноса каменщиком глины и кирпича к месту кладки.

Если вас заинтересует проблема автоматических танцев под музыку, то вначале придется выполнить мотографическую запись выбранного танца, затем установить логические связи музыки и движений, после чего приступить к конструированию логических схем танцев под музыку. Создание самой механической системы с соленоидами или другими приводными устройствами будет самой легкой частью задачи.

## Вас слушает робот

Представьте, что вы звоните по телефону приятелю и вслед за первым гудком в трубке слышите легкий щелчок и его голос: «Меня нет дома. Вернусь к восьми. Что вы мне хотите сказать?» Не пытайтесь уличить приятеля во лжи. Он не разыгрывает вас. И хотя слышен его голос, приятеля действительно нет дома. Вам ответил телефонный «секретарь». Когда его хозяин вернется домой, магнитофон расскажет ему о вашем вызове и о том, что вы передали.

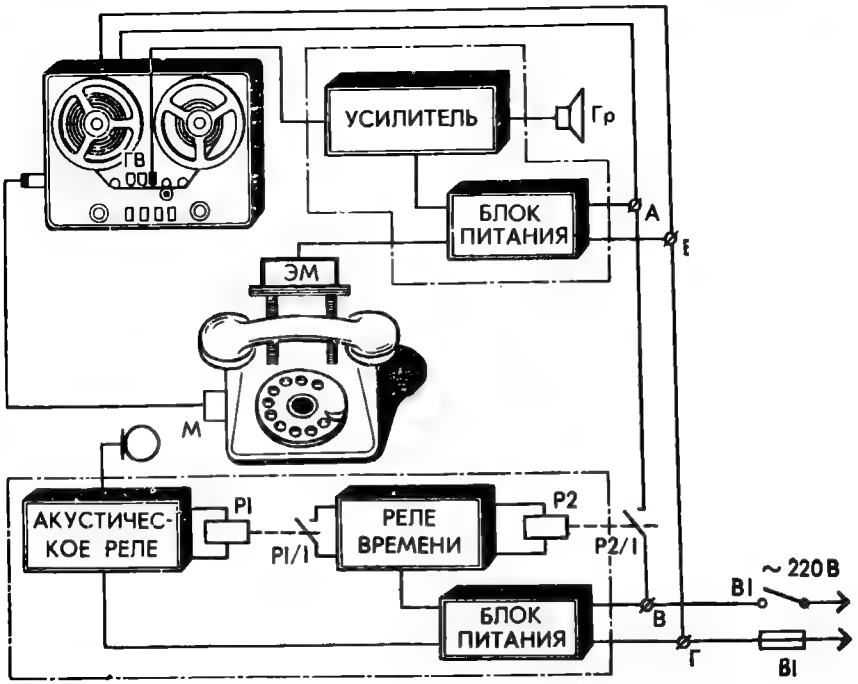



Рис. 71. Робот-автоответчик

Как построен робот-автоответчик, поясняет рис. 71. Звук вызова (звонок) телефонного аппарата воспринимается микрофоном М, преобразуется в электрический сигнал, который усиливается и приводит в действие сначала акустическое реле, а затем реле времени. Реле *Р2* замыкает сетевые контакты *Р2/1* и подает питание на магнитофон, усилитель блока ответа и электромагнит ЭМ, приводящий в действие механизм подъема телефонной трубки.

Блок ответа состоит из магнитной головки ГВ (воспроизводящей) и транзисторного усилителя. Громкоговоритель *Гр* воспроизводит информационную запись, предварительно выполненную на нижней дорожке пленки. За время ответа лампы магнитофона разогреваются, и аппарат с помощью индукционного датчика на верхней звуковой дорожке магнитной ленты записывает сделанное сообщение. По истечении времени выдержки реле *Р2* размыкает свои контакты и автоответчик переходит в первоначальное положение.

Чтобы телефонный «секретарь» всегда был готов к ответу на новый вызов, информационную запись повторяют через интервалы, равные времени включения автомата.

Электронное акустическое реле (рис. 72) — двухкаскадный усилитель низкой частоты на транзисторах *Т1* и *Т2*. Ко входу усилителя подключен микрофон М, а к выходу — электромагнитное реле *Р1*. Усиленное напряжение, снимаемое с обмотки этого реле, через конденсатор *С5* поступает на диоды *Д1* и *Д2*, выпрямляется ими

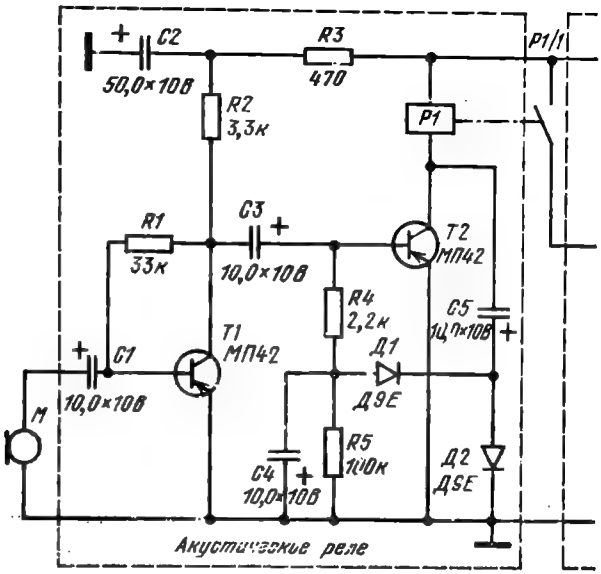


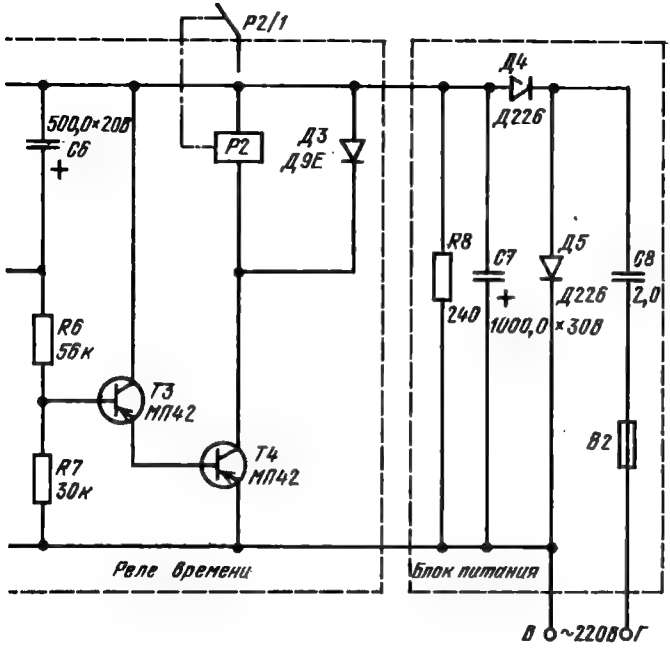

Рис. 72. Акустическое

и в отрицательной полярности через резистор *R4* подается на базу транзистора *T2*. Коллекторный ток этого транзистора резко возрастает, срабатывает реле *P1*, а его контакты кратковременно замыкают конденсатор *C6* временного реле.

Когда конденсатор *C6* заряжен, в цепи базы полупроводникового транзистора *T3* тока нет, транзисторы реле времени закрыты, а обмотка *P2* обесточена. Если электрический конденсатор *C6* разрядить, замкнув его обкладки, в базовой цепи транзистора *T3* появится ток заряда конденсатора, который затем усилится, и возросший коллекторный ток транзистора *T4* заставит сработать реле времени *P2*. Его контакты *P2/1* замкнутся и подключат сетевое питание к блоку ответа и магнитофону.

В таком состоянии автомат находится до тех пор, пока конденсатор *C6* полностью не разрядится. Время выдержки зависит от емкости конденсатора и изменяется от 30—40 с до нескольких минут.

Дополнительная воспроизводящая головка ГВ устанавливается на магнитофоне автоответчика и подключается экранированным проводом к трехкаскадному усилителю (рис. 73). Первые два каскада УНЧ на транзисторах *T5* и *T6* осуществляют предварительное усиление сигнала. Напряжение смещения на базу транзистора *T5* снимается с делителя, образованного резисторами *R9* и *R10*. В цепи коллектора находится нагрузка первого каскада — резистор *R11*. Сигнал с него через конденсатор *C11* и регулятор

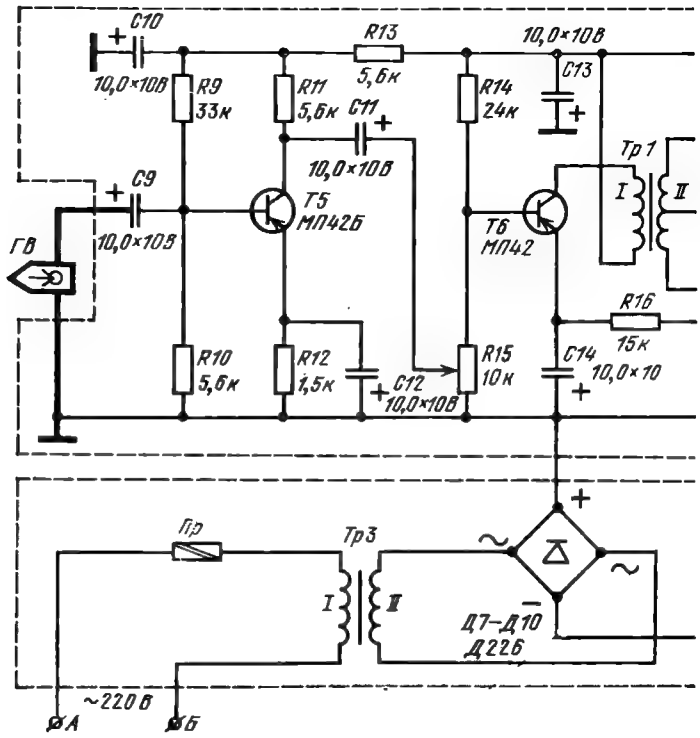



реле

громкости *R15* подается на базу транзистора *Т6*. Режим питания этого транзистора стабилизирован с помощью резисторов в цепи базы и в цепи эмиттера. Элементы стабилизации такие же, как и в первом каскаде. Между положительным источником питания и резистором *R16* включен дополнительный низкоомный резистор *R17*. Он не влияет на режим работы транзистора *Т6*, но создаваемое на нем напряжение используется в качестве необходимого начального смещения на базы транзисторов *Т7* и *Т8*.

Коллекторная нагрузка транзисторов *Т4* — первичная обмотка согласующего трансформатора. Вторичная обмотка этого трансформатора состоит из двух одинаковых секций, включенных последовательно. На среднюю точку подается напряжение смещения, а режим выходных транзисторов стабилизируется током эмиттера транзистора *Т6*, проходящим через резистор *R17*.

Низкочастотный сигнал со вторичной обмотки трансформатора *Тр1* поступает на базы транзисторов *Т7* и *Т8*, работающих в двухтактном выходном каскаде усилителя. Низкоомное сопротивление резистора *R19* исключает влияние разброса параметров применяемых транзисторов на режим каскада. Конечно, можно обойтись и без него В этом случае следует подобрать для выходного



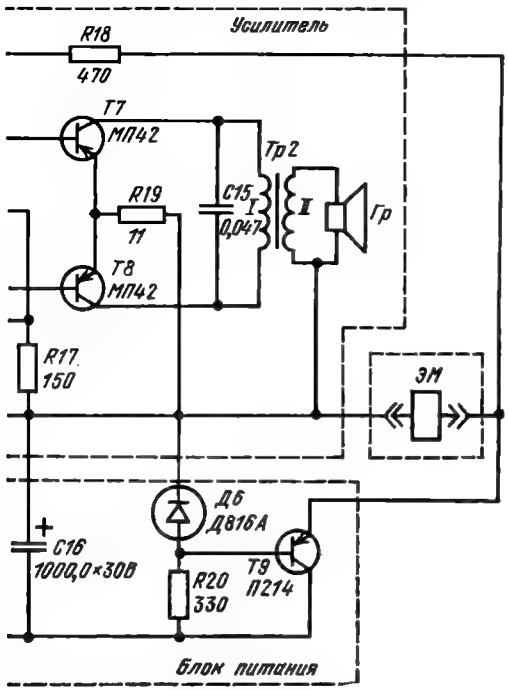

Р и с. 73. Усилитель

каскада транзисторы с близкими значениями статического коэффициента усиления по току ($B_{ст}$).

Низкочастотный усилитель и электромагнит механизма подъема телефонной трубки (ЭМ) питаются от стабилизированного выпрямителя, выполненного по двухполупериодной мостовой схеме на диодах *Д7—Д10*. Электролитический конденсатор *С16* сглаживает пульсацию выпрямленного тока. Транзистор *Т9* включен по схеме эмиттерного повторителя. Напряжение на базе транзистора стабилизировано кремниевым стабилитроном *Д6*.

А теперь расскажем о деталях и конструкции установки. Сначала подберите магнитную головку для усилителя и установите ее в магнитофоне. Лучше всего использовать специальную воспроизводящую головку, например от магнитофона «Тембр». Конструктивно воспроизводящая головка немногим отличается от универсальной. При отсутствии специальной воспроизводящей магнитной головки ее можно заменить универсальной от двух дорожечных магнитофонов «Яуза-6», «Комета-201», «Днепр-14» или магнитофонной приставки «Нота».

Перед установкой головки ГВ следует подготовить площадку крепления (рис. 74). С помощью предварительно изготовленного



шаблона проверьте указанные на чертеже расстояния от кромки рабочей поверхности до платы. В случае отклонений от этих размеров их подгоняют, устанавливая прокладки или уменьшая по высоте втулки крепления.

На магнитную ленту по всей ее длине головками наносятся две отдельные, идущие параллельно друг другу магнитные звуковые дорожки — фонограммы (рис. 75): верхняя дорожка — для записи ответа абонента, нижняя — для воспроизведения информации о работе устройства .

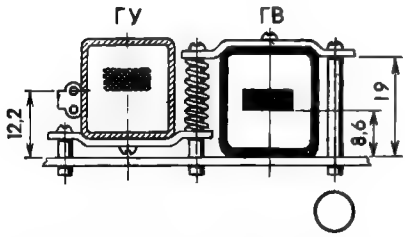
По правилам, установленным Министерством связи, нельзя вскрывать телефонный аппарат или осуществлять какие-либо подключения к телефонной линии. Поэтому запись разговора ведется через индуктивный датчик. Он улавливает магнитное поле рассеяния телефонного линейного трансформатора. Поле рассеяния изменяется по тому же закону, что и разговорные токи в телефонной линии. Датчик улавливает эти изменения, преобразует их в электрический сигнал, который и поступает на вход магнитофона.

Готовым магнитным датчиком может стать старый наушник, желательно высокоомный, типа ТОН-1 или ТОН-2. Снимите его верхнюю крышку и удалите мембрану, а открытый капсюль прикрепите сбоку к корпусу телефонного аппарата так, чтобы он оказался расположенным достаточно близко к линейному трансформатору.

Еще лучше действует датчик, представляющий собой многовитковую катушку без сердечника. Размеры каркаса катушки, вытачиваемого из сухого дерева или другого изоляционного материала, показаны на рис. 76. На каркас намотайте 10—14 тыс. витков провода в эмалевой изоляции диаметром 0,05—0,07 мм. Катушку заключите в любой неметаллический корпус, выводы датчика экранированным двухпроводным кабелем соедините с микрофонным входом магнитофона.

Все магнитные датчики работают только с телефонным аппаратом в пластмассовом корпусе. Металлический корпус ослабляет магнитное поле рассеяния практически до нуля.

Устройство подъема телефонной трубки (рис. 77) состоит из соленоида ЭМ и рычажного механизма, имеющего две стойки, раму и коромысло. Коромысло соединено с подвижным магнитным




Р и с. 74. Площадка крепления

Р и с. 75. Фонограммы

сердечником диаметром 6 мм и длиной 15 мм. При втягивании стержня в катушку соленоида коромысло поворачивает раму так, что ее концы, подводимые под телефонную трубку, перемещаются вверх. Пока идет разговор, на обмотку соленоида подается выпрямленное напряжение с блока питания.

Катушка соленоида наматывается на каркас диаметром 8 мм и длиной 18—20 мм. Обмотка электромагнита — 6000—7000 витков провода ПЭЛ 0,1—0,15.

Микрофон блока включения малогабаритный — типа М1 (от слухового аппарата). Его можно заменить низкоомными телефонными капсюлями, например ДЭМ-4М или ТА-56М.

Трансформаторы *Тр1* и *Тр2* используются от карманных приемников промышленного производства, например «Сокола», «Селги», «Альпиниста». Не перепутайте согласующий и выходной трансформаторы, так как они обычно отличаются только клеймом ТС (или С) и ТВ (или В).

Силовой трансформатор блока питания *Тр3* собирается из пластин трансформаторной стали Ш20 толщиной набора 18—20 мм. Сетевая обмотка I трансформатора — 2200 витков провода ПЭВ 0,15—0,17, а вторичная обмотка II — 180 витков провода ПЭВ 0,7—0,8.

Настройку автоответчика начните с испытания акустического и временного реле. Если при подаче телефонного звонка не срабатывает реле *Р1*, проверьте правильность включения диодов *Д1* и *Д2*. Чувствительность схемы можно изменять, подбирая сопротивление резистора *R1*. Необходимую выдержку реле времени установите конденсатором *С6* и резистором *R6*.

На нижней дорожке магнитофона, с которого подается ответ «секретаря», предварительно запишите фразы в виде отдельных вопросов или небольшой пояснительный текст. Для этого можно использовать уже установленную универсальную головку ГВ, подключив ее на время записи к соответствующим клеммам магнитофона. Затем включите лентопротяжный механизм магнитофона и попробуйте воспроизвести контрольную запись через усилитель блока ответа. Для предотвращения возможного самовозбуждения усилителя первый каскад на транзисторе *Т1* должен находиться

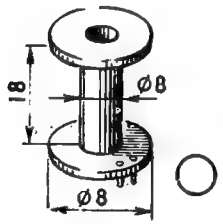



Рис. 76. Каркас катушки

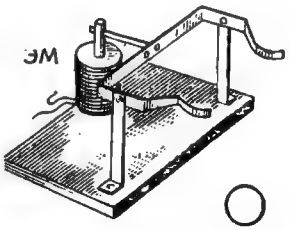



Рис. 77. Устройство подъема телефонной трубки

возможно дальше от трансформатора и ближе к воспроизводящей головке ГВ.

Как правило, электромагнит механизма для подъема трубки действует надежно и не требует особой регулировки.

В заключение проверьте работу индукционного датчика. Попросите товарища позвонить вам по телефону. Когда раздастся звонок, снимите трубку и попытайтесь записать контрольный счет, который будет вести товарищ на другом конце телефонной линии. После того как найдено самое выгодное положение датчика, закрепите его на корпусе лейкопластырем, изоляционной лентой или пластилином.

Заканчивается настройка выбором времени выдержки реле и установкой резистором *R15* необходимой громкости воспроизведения информационной записи. Включается автоответчик тумблером *B1*. При этом не забудьте нажать на магнитофоне клавишу «Запись». Микрофон расположите рядом с аппаратом, а громкоговоритель блока ответа установите поближе к телефонной трубке.

При каждом телефонном звонке автоответчик должен воспроизводить одну и ту же фразу, поэтому текст можно записать на магнитофоне один раз на кольцевой «бесконечной» ленте.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗРЕНИЯ

## Бионика и зрение

Роботы должны видеть! У них должны быть глаза. Глаз — важнейший орган чувств человека. Именно зрение доставляет нам наибольшую часть информации о внешнем мире, поэтому лишать робота «глаз» нельзя.

Исследования показывают, что живая система почти всегда чудовищно сложна. Так, сетчатка человеческого глаза содержит десятки миллионов простых чувствительных пленок, они связаны сетью из миллионов нервных волокон с головным мозгом, а мозг состоит из миллиардов взаимосвязанных нервных клеток. Описание элементов зрительной системы можно найти в бесчисленных научных трудах, но, пытаясь понять и объединить все отдельные функции, можно безнадежно запутаться. Зрение — не единичный случай. Все биологические системы, даже наиболее простые из них, оказываются чрезвычайно, а подчас и бесконечно сложными. Вот тут-то на помощь инженеру-конструктору роботов и приходит бионика. Опыт этой науки позволяет выбрать для того или иного робота в качестве прототипа систему зрения какого-либо простого существа, особенности зрения которого удовлетворяют требованиям, предъявляемым к разрабатываемой модели.

В совсем простых случаях обходятся и без советов бионики. Например, если зрение нужно роботу только для подсчета деталей,

проходящих на конвейере, то здесь применима самая элементарная схема. С одной стороны конвейера устанавливается лампа, световой луч которой направляется на фотоэлемент, управляющий электромагнитным счетчиком или реле. Вот и все! Луч света пересекается движущимися деталями, это улавливает фотоэлемент и заставляет срабатывать счетчик. Подобная простейшая схема зрения используется в метро для контроля оплаты проезда.

Выявлена очень интересная способность сетчатки глаза голубя избирать объекты, движущиеся в одном направлении. Это свойство получило название «обнаружение направленного движения». Моделирование глаза голубя — одно из направлений исследований бионики.

У роботов-луноходов для ориентации солнечной батареи в направлении солнца используется система зрения из четырех фотоэлементов, включающих моторы, направляющие поверхность солнечной батареи все время в сторону солнца. Как работает такая система зрения, легко понять и без специальных пояснений. Здесь все ясно и без бионики. Но вот при разработке системы, автоматически следящей за целью и опознающей цель, военное ведомство США заинтересовалось глазом лягушки. Она, оказывается, ухитряется не видеть то, что ей видеть не требуется, и игнорирует все несущественные признаки изображения, например тени от облаков. Ценная же информация, скажем сигнал об опасности, немедленно улавливается глазом и передается в мозг.

Специалистами по бионике ведутся работы и по моделированию некоторых функций человеческого глаза. Создана электронная модель сетчатки, воспроизводящая работу фоторецепторов в центральной ямке и на периферии; предложено устройство, аналогичное механизму управления движением глазного яблока, делаются попытки построить электронную модель цветового восприятия. Для роботостроителей наиболее интересны различные опознающие устройства, которые могут найти применение в медицине и криминалистике.

## Моделирование зрения

Основными электронными элементами «зрения» в технических моделях являются фотоэлементы — устройства, которые при освещении меняют свои электрические характеристики (одни начинают пропускать электрический ток, другие меняют свое сопротивление, некоторые сами становятся источниками тока).

Основное различие между человеческим глазом и фотоэлементом в том, что глаз в сочетании с мозгом создает детальное изображение виденного, а фотоэлемент только различным образом реагирует на среднюю яркость света.

На рис. 78 в увеличенном масштабе показана структура сетчатки глаза, состоящей из палочек и колбочек. Интересно, что любая чувствительная к свету клетка в сетчатке соединена непосредствен-

но со зрительным нервом, а также с другими клетками, которые, в свою очередь, соединены между собой, так что световой сигнал уже на этом этапе «продумывается». Таким образом, сам глаз человека выполняет часть функций осмысливания, свойственных головному мозгу.

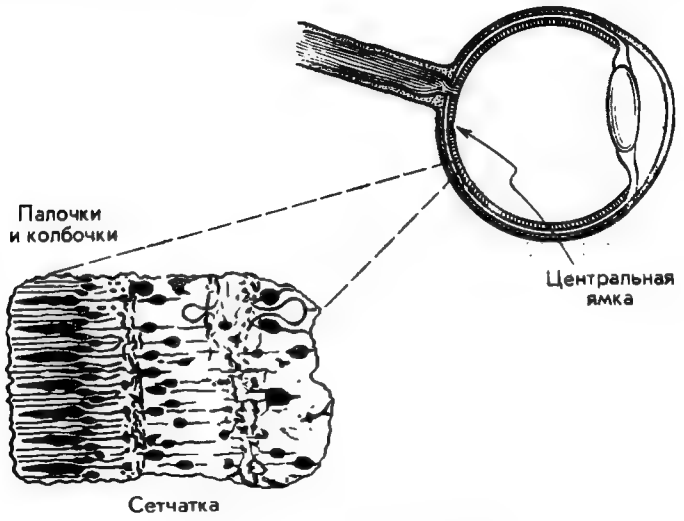
В электронике детальное изображение позволяют создавать передающие телевизионные трубки, экран которых состоит из множества микроскопических фотоэлементов (рис. 79) (диаметром около 1 мк) подобно тому, как сетчатка состоит из множества палочек и колбочек.

Вывод тока экрана на сетку усилительной лампы является в телевизионной трубке некоторым подобием зрительного нерва. Ток каждого микрофотоэлемента трубки с огромной скоростью коммутируется электронным лучом, построчно «пробегающим» по всем микрофотоэлементам экрана (рис. 80).

Глаза превосходят фотоэлементы по многим важным характеристикам, но и фотореле в некоторых случаях выполняет свои задачи лучше, чем глаза человека. Они реагируют на невидимые глазом участки спектра (инфракрасное и ультрафиолетовое излучения), способны регистрировать изменения света, происходящие с очень высокой частотой (до миллиона колебаний в секунду), совершенно недоступные для человеческого глаза (его предел 20 кол./с — 20 Гц).

Основой фотореле служит электронное реле, а датчиком управляющих сигналов — прибор, электрические параметры которого изменяются под действием света, например фотодиод, фоторезистор, фототранзистор.

Что представляют собой светочувствительные элементы?




Р и с. 78. Структура сетчатки глаза

Фотодиод — это плоскостной полупроводниковый диод, обратное сопротивление которого при освещении его $p$—$n$-перехода уменьшается. Сущность действия фотодиода проще всего уяснить, измерив его обратное сопротивление и обратный ток при различном освещении. Сначала подключите к фотодиоду омметр, но так, чтобы отрицательный полюс батареи омметра был соединен с анодом, а положительный — с катодом фотодиода. Затемните фотодиод, прикрыв его картоном или темной плотной бумагой. Омметр должен показывать очень большое сопротивление (более 100 кОм). Осветите фотодиод электролампой мощностью 40—60 Вт с расстояния 20—30 см — омметр покажет в десятки раз меньшее сопротивление. Чем сильнее освещен фотодиод, тем больше разница в показаниях омметра. Теперь подключите к фотодиоду батарею (или блок питания) напряжением 3—6 В и миллиамперметр на ток 1—3 мА. С анодом фотодиода должен быть соединен отрицательный полюс батареи, а с катодом — положительный. Затемняя и освещая фотодиод, следите за показаниями миллиамперметра. Ток через освещенный диод должен быть значительно больше тока затемненного фотодиода.

Фоторезистор — тоже полупроводниковый прибор, у которого при освещении сопротивление уменьшается в десятки или даже тысячи раз.

Работа фототранзистора аналогична действию обычного транзистора, но в нем управление коллекторным током осуществляется не электрическим сигналом, а путем освещения базового электрода через отверстие в корпусе. В такой светочувствительный элемент можно превратить любой германиевый низкочастотный или высокочастотный транзистор, например транзисторы типов МП39—МП42, П401—П403, что и делают обычно радиолюбители-экспериментаторы.

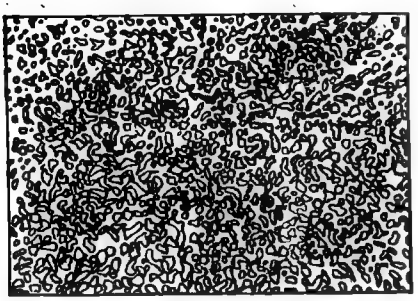


Рис. 79. Экран телевизионной трубки

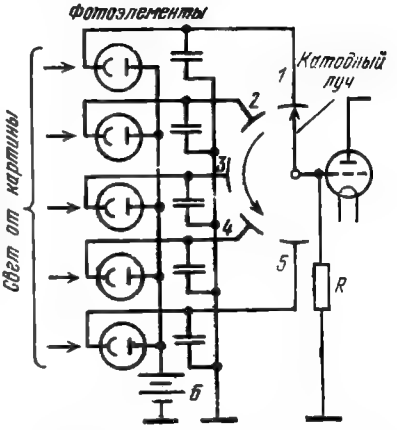



Рис. 80. Коммутация микроэлементов экрана катодным лучом:

*1—5* — номера коммутируемых фотоэлементов

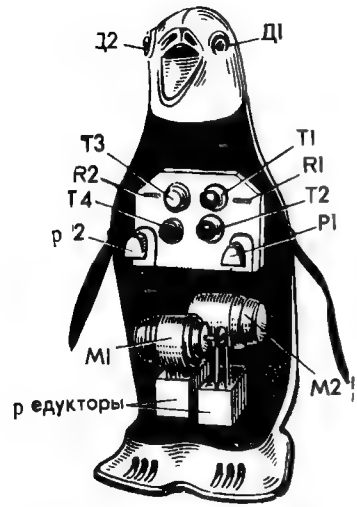
При выборе фоторезисторов для схем зрения следует иметь в виду, что в зависимости от типа (ФСА, ФСК или ФСД) они очень сильно отличаются по чувствительности к световому потоку. Так, отношение темнового сопротивления $R_т$ к сопротивлению при освещенном состоянии $R_{осв}$ у фоторезисторов ФСК=200, а у ФСД-1 — около 2000. Поэтому с фоторезисторами ФСД-1 можно сделать схему зрения (например, для движения модели на свет) даже без усилителей.

Фотореле можно установить на самоходной игрушке с приводом от маломощного электродвигателя. Тогда включать и выключать питание электродвигателя можно будет на расстоянии — направленным лучом электрического фонаря.

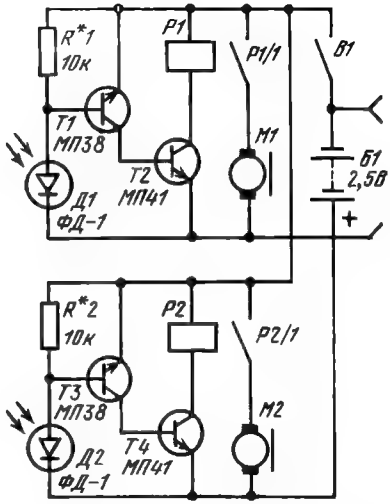
На рис. 81, 82 приведены внешний вид и схема пингвина, движущегося на свет. Если электрическим фонарем осветить правый глаз фигурки пингвина, она, переваливаясь и помахивая крыльями, идет направо, если осветить левый глаз — идет налево, а если оба глаза, то прямо. Короче говоря, фигурка пингвина идет на свет.

Электронная часть модели состоит из двух совершенно одинаковых фотореле, которые, срабатывая, включают электродвигатели механизма движения. Каждое фотореле представляет собой усилитель тока с фотодиодом *ФД1, ФД2* на входе и электромагнитным реле *Р1, Р2* на выходе.

В усилителях тока фотореле использованы транзисторы разной проводимости: $n-p-n$ *(Т1, Т3)* и $p-n-p$ *(Т2, Т4)*. Положительные напряжения смещения на базы транзисторов *Т1* и *Т3*, работающих в первых каскадах усилителей, подаются с делителей напряжения, образованных фотодиодами *ФД1* и *ФД2* и




Р и с. 81. Пингвин, движущийся на свет




Р и с. 82. Схема движения на свет

резисторами *R1, R2*. Пока фотодиоды не освещены, их сопротивления очень большие — около 400 кОм. При этом оба транзистора усилителей почти закрыты. При освещении фотодиодов их сопротивления уменьшаются до 10 — 40 кОм, в результате чего транзисторы открываются, электромагнитные реле *P1* и *P2* срабатывают, а их контакты *P1/1* и *P2/1* замыкают цепи питания электродвигателей *M1* и *M2*. Если осветить один глаз, то, естественно, сработает только одно, относящееся к нему реле, — пингвин пойдет в соответствующую сторону.

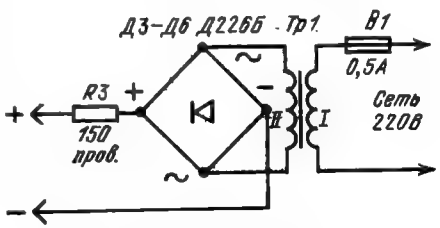
Для модели использована готовая электромеханическая игрушка. Ее электродвигатель с редуктором, приводящий в движение эксцентрические колеса-ноги, заменен двумя электродвигателями ДП-4 и двумя инерционными двигателями механических игрушек, которые в модели выполняют роль редукторов. На маховиках, ставших шкивами редукторов, сделаны проточки для резиновых пасиков, соединяющих редукторы с осями электродвигателей.

Для питания электродвигателей используют батарею напряжением 2,5 В, составленную из четырех аккумуляторов типа Д-0,5 (смешанное соединение). Она размещена сзади монтажной платы фотореле.

Транзисторы, резисторы и электромагнитные реле смонтированы на гетинаксовой плате размером 40×55 мм. Коэффициент усиления $B_{ст}$ транзисторов должен быть не менее 50. Чем больше коэффициент $B_{ст}$ и меньше обратные токи коллекторов $I_{к0}$ транзисторов, тем чувствительнее фотореле. Вместо транзисторов МП38 можно использовать транзисторы МП35 — МП37, вместо транзисторов МП41 — любые другие маломощные низкочастотные транзисторы структуры *p—n—p* (МП39, МП40, МП42), вместо фотодиодов *ФД1* — фоторезисторы ФСК-1. Используют электромагнитные реле *P1* и *P2* типа РЭС-10 с обмотками сопротивлением 120 Ом (паспорта РС4. 524. 303, РС4. 524. 308). Пружины реле надо ослабить, чтобы они срабатывали при напряжении батареи питания (2,5 В).

Налаживание фотореле заключается в подборе резисторов *R1* и *R2*. Номиналы этих резисторов должны быть такими, чтобы реле срабатывали при освещении фотодиодов электрическим фонарем с расстояния не менее 1 м.

Выпрямитель для зарядки аккумуляторной батареи можно собрать по схеме, приведенной на рис. 83. Данные силового трансформатора *Tp1*: сердечник с площадью сечения 4—5 см², первичная обмотка — 2000—2200 витков провода ПЭВ-1 0,1—0,12, вторичная обмотка — 50—60 витков провода ПЭВ-1 0,2—0,3. Конструкция выпрямителя может быть любой.




Р и с. 83. Выпрямитель

Подобные фотореле можно использовать для управления светом любой моделью, подобной пингвину, или роботом.

Обычные схемы фотореле имеют одно общее свойство: свет источника, попадая на фоторезистор, вызывает срабатывание системы — включаются какие-либо механизмы. Но возможности электронного зрения этим не ограничиваются. Используя его способность «видеть» отраженный световой поток, можно, например, заставить модель двигаться по довольно замысловатой трассе, выложенной из станиолевой или алюминиевой ленты.

По такому принципу сделана схема зрения черепахи «Альфа», сконструированной польскими инженерами (рис. 84). Чтобы модель двигалась вдоль световой полосы, в ее передней части снизу справа и слева от лампочки нужно разместить два фоторезистора так, чтобы на низ попадал только свет, отраженный от полосы. Подойдя к границе белого поля (например, листа бумаги), черепаха обязательно развернется в его сторону. Если же осветители и фоторезисторы повернуть кверху (на 180°), то получится забавный эффект: стоит помахать перед «носом» черепахи белой бумагой, как она устремится за этой «приманкой».

Свойства «белой полосы» могут пригодиться во многих случаях. Например, модель гоночного автомобиля с тщательно отрегулированным фотореле способна двигаться вдоль линии, проведенной на полу мелом и только несколько расширенной на поворотах.

К электронным схемам зрения можно также отнести световые и инфракрасные локаторы обнаружения препятствий. Люди изобрели локацию намного позже, чем она была «открыта» природой. Нам до сих пор остается только удивляться совершенству ультразвуковых локаторов некоторых животных, например дельфина или летучей мыши. Копирование природных локаторов часто служило залогом бурного развития самых смелых идей. Созданные всего сорок лет назад приборы «невидимого боя» прогрессировали очень быстро, как бы наверстывая упущенное, и сейчас проникли в самые разные области жизни. С помощью гидролокаторов можно обнаруживать вражеские подводные лодки и корабли, а в мирное время — косяки

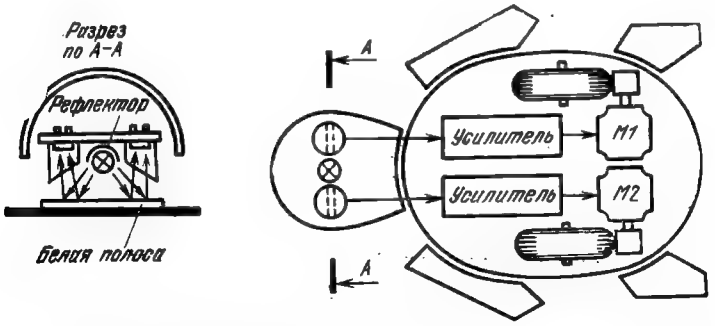



Рис. 84. Схема черепахи, движущейся вдоль световой полосы

рыбы. Радиолокаторы пассажирских самолетов предупреждают об опасности столкновений в воздухе, помогают обходить горы, грозовые облака. Ультразвуковые дефектоскопы находят брак в непрозрачных деталях.

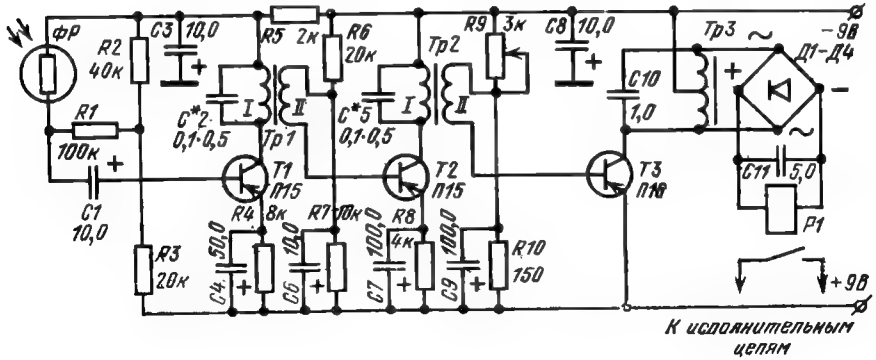
С появлением квантовых генераторов и усилителей света стало возможным создание принципиально новых видов локаторов — световых. Эти локаторы излучают короткий световой импульс, в котором сконцентрирована большая энергия.

В практике любительского роботостроения можно, конечно, обойтись и без квантового генератора. Ведь роботы решают более простые задачи. Поэтому передатчики световых сигналов могут быть совсем несложными. А робот обретет как бы «шестое чувство», недоступное человеку, благодаря которому он будет вполне уверенно обходить преграды, находить двери и никому не «наступать на ноги».

Рассмотрим совсем простой локатор (рис. 85) для небольшой движущейся модели. Работает он по принципу приема отраженных световых сигналов, создаваемых источником электрического освещения (сеть с $U=110$ или 220 В, $f=50$ Гц). Прибор — высокочувствительный усилитель световых сигналов переменной интенсивности — реагирует на колебания только определенной частоты. В отличие от простейших усилителей постоянного тока, используемых в схемах зрения моделей и подверженных влиянию дневного света, на этот светолокатор не действуют даже яркие солнечные лучи.

Так как частота изменения интенсивности света электрических ламп равна удвоенной частоте переменного тока в сети (100 Гц при работе от сети с $f=50$ Гц), то в схеме применены резонансные контуры, настроенные на 100 Гц. Образованы они индуктивностью первичных обмоток трансформаторов *Тр1* и *Тр2* и емкостью конденсаторов *С*2* и *С*5*.

Такая схема исключает возможность срабатывания прибора от случайных вспышек и воздействия света другой «природы», не электрического. Кроме того, правильно настроенные контуры благо-



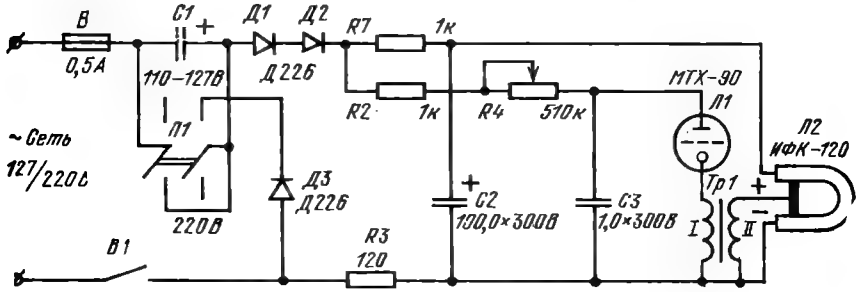

Р и с. 85. Световой локатор

даря резонансу увеличат коэффициент усиления каждого каскада на частоте 100 Гц более чем в три раза.

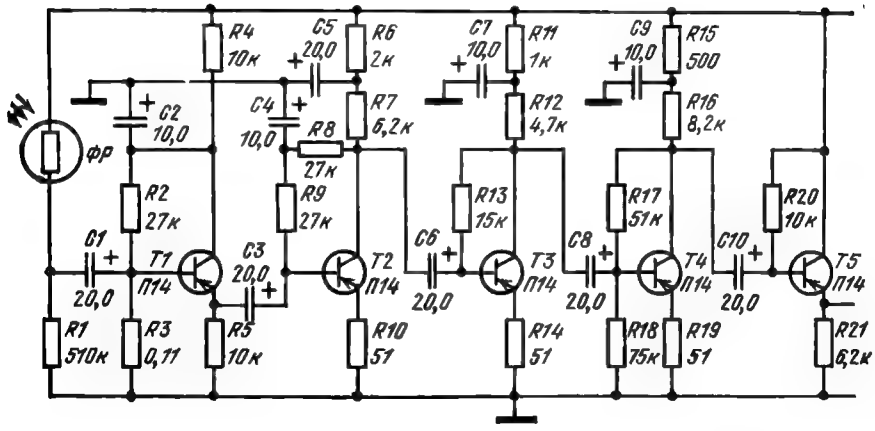
При настройке такого локатора лучше всего, конечно, пользоваться звуковым генератором или осциллографом, но можно обойтись и без них. Для этого, подбирая емкости конденсаторов *С*2* и *С*5* (чаще всего в пределах 0,1 — 0,5 мкФ), добиваются максимальной чувствительности схемы, т. е. срабатывания ее на наибольшем удалении от освещенных предметов. Хорошо налаженный локатор при обычном освещении комнаты (200—300 Вт на 15—20м²) должен находить препятствия с расстояния в 2—3 м.

Дальность действия локатора регулируется переменным резистором *R9*. Чувствительность схемы можно повысить в 40—50 раз, включив в нее еще один — четвертый каскад, точно такой же, как первый и второй.

Большое значение для работы схемы имеет также правильная установка фоторезистора — он обязательно должен быть заключен в тубус с линзой. Что же касается реакции робота на препятствие,




Р и с. 86. Источник световых импульсов




Р и с. 87. При

то здесь могут быть различные варианты: поворот его в сторону, включение звуковой или световой сигнализации и т. д.

Более интересные результаты дают светолокаторы с автономным передатчиком. Передатчик с электронной модуляцией светового потока можно сделать на импульсной лампе типа ИФК-120 (рис. 86).

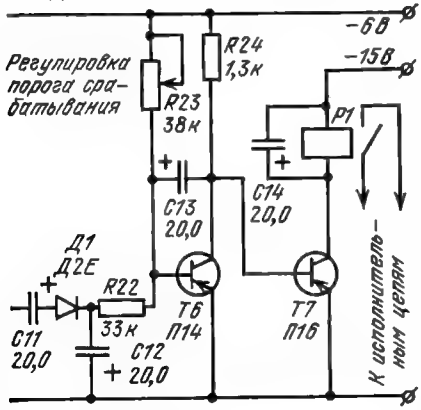
В схеме происходит следующее: когда напряжение на конденсаторе *С3* «зажигает» тиратрон МТХ-90, происходит разряд конденсатора *С2* через тиратрон и первичную обмотку импульсного трансформатора. При этом импульс со вторичной обмотки трансформатора вызывает яркую вспышку лампы ИФК-120. Подбирая сопротивление резистора *R4*, можно изменять время заряда конденсатора *С3*, а следовательно, и частоту вспышек в пределах от 1 до 30 Гц. Яркость их приходится «приглушать», устанавливая на лампу тубус или, что еще лучше, инфракрасный фильтр. В последнем случае у вас получится инфракрасный локатор, работающий на невидимых лучах.

К сожалению, лампа ИФК-120 не очень долговечна — при частоте вспышек 15—30 Гц ее хватает на 10—15 ч. О выработке ее ресурса можно судить по перебоям вспышек и потемнению стеклянного баллона лампы.

Обмотка импульсного трансформатора *Тр1* наматывается на ферритовый стержень диаметром 8 мм и длиной 30 м. Первичная его обмотка — 3 витка провода ПЭЛ-0,3, вторичная — 200 витков ПЭЛШО-0,1.

В приемнике (рис. 87) светолокатора в связи с большим усилением схемы нужно принять меры для предотвращения ее самовозбуждения. Для этого первый каскад и фоторезистор лучше поместить в отдельный металлический корпус и соединить со вторым каскадом экранированным проводом.

Чувствительность такого приемного устройства 1—5 мВ. Дальность действия всего светолокатора при этом может достигнуть 3—5 м, если объектом обнаружения являются белые стены. А вот человека в сером или зеленом костюме робот «почувствует» на расстоянии до 2 м. Правда, и эти пределы могут быть увеличены в 1,5—2 раза, если фоторезистор расположить в фокусе оптической линзы, а лампу ИФК-120 установить с рефлектором.




емник светолокатора

В рассмотренных светолокационных устройствах мы отмечали специфические особенности световых потоков некоторых источников света.

Так, было замечено, что свет электрических ламп модулирован частотой напряжения электросети (50 Гц). Интенсивность солнечного света постоянна (не считая суточных изменений). А вот интенсивность свечения пламени, оказывается, колеблется с вполне определенными присущими ему частотами. Это свойство пламени позволяет создать очень чувствительные электронные приборы, способные увидеть совершенно незначительное пламя (даже тление папиросы) не только в темноте, но и при электрическом освещении и даже при ярком свете солнца.

Предлагаем познакомиться с такой системой.

## Электронная система, обнаруживающая пламя горящей спички в любых условиях (в темноте и при ярком солнечном свете)

Применение датчиков обычных типов, температурных, световых и других, для фиксации пламени в ряде случаев оказывается нецелесообразным, так как изменения напряжений и токов на выходе их наблюдаются не только при возникновении или исчезновении пламени, но и по другим причинам, например при случайном увеличении освещенности, повышении температуры. Поэтому при использовании таких датчиков необходимо принимать специальные меры, исключающие ложные срабатывания. Очевидно, что для более четкой фиксации пламени больше всего подходят датчики, действие которых основано на изменении факторов, непосредственно характеризующих пламя.

Для открытого пламени, как показывает практика, наиболее характерна пульсация его светового инфракрасного и ультрафиолетового излучения — интенсивность различных видов излучения пламени не остается постоянной, а изменяется во времени. Явление пульсации, обусловленное физическими процессами, возникающими при горении (неравномерный приток кислорода), можно наблюдать, в частности, на примере обычной газовой горелки.

Как показали опыты, пульсация пламени многих горючих материалов, в том числе при искусственном распылении, например в топках котлов и других теплоустановок, происходит с частотой, лежащей в довольно широком диапазоне, причем наиболее вероятными являются пульсации частотой 15—30 Гц.

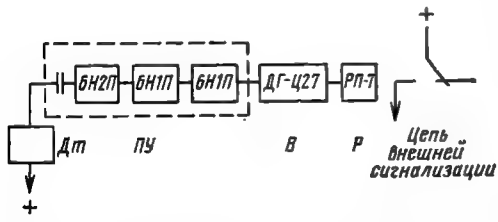



Рис. 88. Структурная схема устройства обнаружения пламени

Устройство робота для обнаружения пламени (рис. 88) состоит из чувствительного элемента-датчика (Дт), полосового усилителя (ПУ) с

выпрямителем (В) и выходного реле (Р). В качестве датчика в устройстве применены фоторезисторы типа ФС-А1. Число фоторезисторов определяется местными условиями. Номинальное значение темнового сопротивления (активного сопротивления неосвещенного датчика) — не более 150 кОм. Спектральная характеристика фоторезисторов типа ФС-А1 имеет максимум чувствительности на волне 2,1 мм; это значит, что устройство обладает достаточной чувствительностью и для пламени относительно невысокой температуры. Экспериментальная проверка показала пригодность фоторезисторов данного типа для работы в качестве датчиков пламени, фиксирующих весьма малые изменения освещенности.

Относительно малая амплитуда пульсаций пламени, обусловливающая появление на выходе датчика небольших переменных напряжений, не превышающих, как правило, несколько сот микровольт, вызывает необходимость использования в устройстве дополнительного усиления. Усилитель устройства (рис. 89) характеризуется достаточно высокой чувствительностью (около 20—26 мкВ), малыми внутренними шумами (около 1—2 мкВ) и благодаря использованию фильтров специфичной частотной характеристикой. Чувствительность такого устройства достаточна для обнаружения горящей спички на расстоянии 5—6 м. В то же время прибор не реагирует на такие источники излучения световых лучей, как лампа накаливания, солнечный свет и на источники инфракрасного излучения — различные двигатели, агрегаты, нагретые стенки топок и т. п.

Усилитель состоит из собственно усилительной части и формирующего устройства (ограничителя сигналов по верхнему и нижнему уровням). Первые два каскада усилителя собраны на двойном триоде типа 6Н2П *(Л1)*. Второй каскад усиления содержит цепь отрицательной обратной связи, состоящую из катушки индуктивности *L1* и двух конденсаторов *С7* и *С17*.

Цепь отрицательной обратной связи обеспечивает подъем частотной характеристики на частоте 15 Гц и резкий спад усиления в области частот свыше 70 Гц. Для снижения усиления в области высших частот в первом и втором каскадах установлены шунтирующие конденсаторы *С4* и *С8*. Для предупреждения самовозбуждения усилителя первая лампа его помещена в экранированный отсек и питается от отдельного выпрямительного устройства.

Третий и четвертый каскады усилителя выполнены на двойном триоде типа 6Н1П *(Л2)*. Третий каскад содержит цепи отрицательной обратной связи *R2*, *R11*, *R18*.

Формирующее устройство, предназначенное для обеспечения устойчивости работы выходного реле, выполнено на двойном триоде типа 6Н1П *(Л3)*. Подача положительного смещения на сетки ламп его и на катод правой по схеме половины лампы *Л2* обеспечивает ограничение сигнала по нижнему уровню, т. е. исключает возможность появления выходного напряжения в тех случаях, ко-

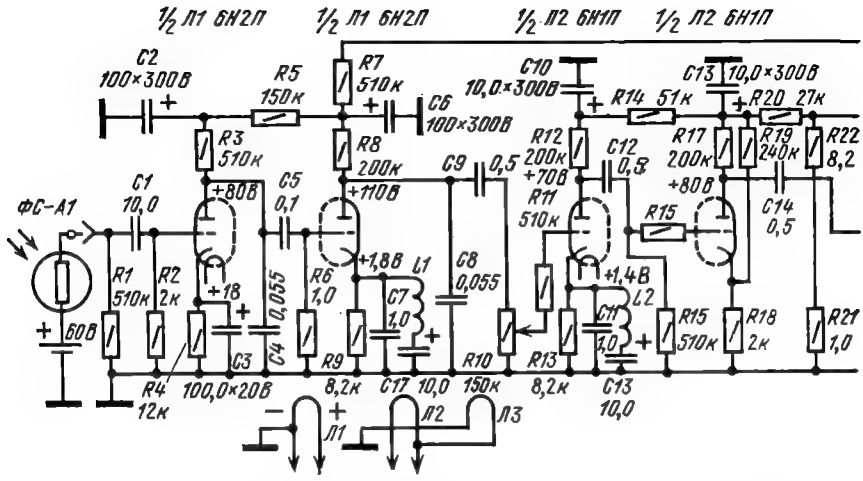


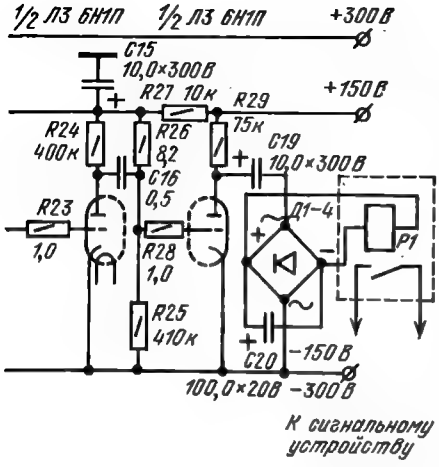

Рис. 89. Принципиальная схема устройства обнаружения пламени

гда напряжение сигнала на входе усилителя недостаточно для правильного формирования. Общее усиление на частотах 16—17 Гц составляет более 90 дБ.

Использованный в устройстве выпрямительный мостик выполнен на полупроводниковых диодах типа Д7Ж. Входное реле *Р1* — поляризованное, типа РП-7. Конденсатор, включенный параллельно обмотке выходного реле, предназначается для устранения дребезжания якоря в моменты, когда напряжение равно нулю. Питание прибора (включая датчик) может либо быть от источника постоянного тока, либо от сети переменного тока через выпрямитель. В последнем случае для устранения фона переменного тока питание цепи накала первой лампы осуществляется выпрямленным напряжением. Напряжение, подаваемое на аноды ламп формирующего устройства, стабилизируется газовым стабилитроном.

Устройство обнаружения пламени конструктивно выполнено в виде отдельного блока размером 200×200×300 мм (габариты блока могут быть значительно уменьшены за счет применения малогабаритных деталей, в частности транзисторов, а также их более рационального размещения).

Испытания, проведенные для определения его чувствительности, проводились при использовании в качестве источника пламени обычной спиртовой лампы. При испытаниях установлено, что устойчивая сигнализация о наличии пламени наблюдалась на расстоянии от лампы до датчика около 6 м, что соответствовало освещенности датчика, равной приблизительно 0,02 лк. Увеличить чувствительность можно за счет применения оптических линз и зеркал, позволяющих концентрировать на датчике большую часть излучения источника пламени, чем при непосредственном освещении.




Необходимо отметить, что чувствительность устройства практически не зависит от освещенности, создаваемой другими источниками излучений. Кроме того, отсутствие избирательности по отношению к каким-либо определенным лучам или участкам спектра (избирательность чувствительного элемента не учитывается) исключает необходимость применения особых мер, предохраняющих чувствительный элемент от воздействия этих лучей.

Достоинствами устройства, выгодно отличающими его от других приборов, действие которых основано на иных принципах, являются также его безынерционность, малые габариты и экономичность в потреблении энергии. Если необходимо замедлить действие устройства, в нем можно применить реле замедленного действия. Оно пригодно для использования в качестве сигнализатора в установках противопожарной охраны, для извещения о возникновении пламени в неохраняемых помещениях, а также для включения в действие различных систем автоматики робота.

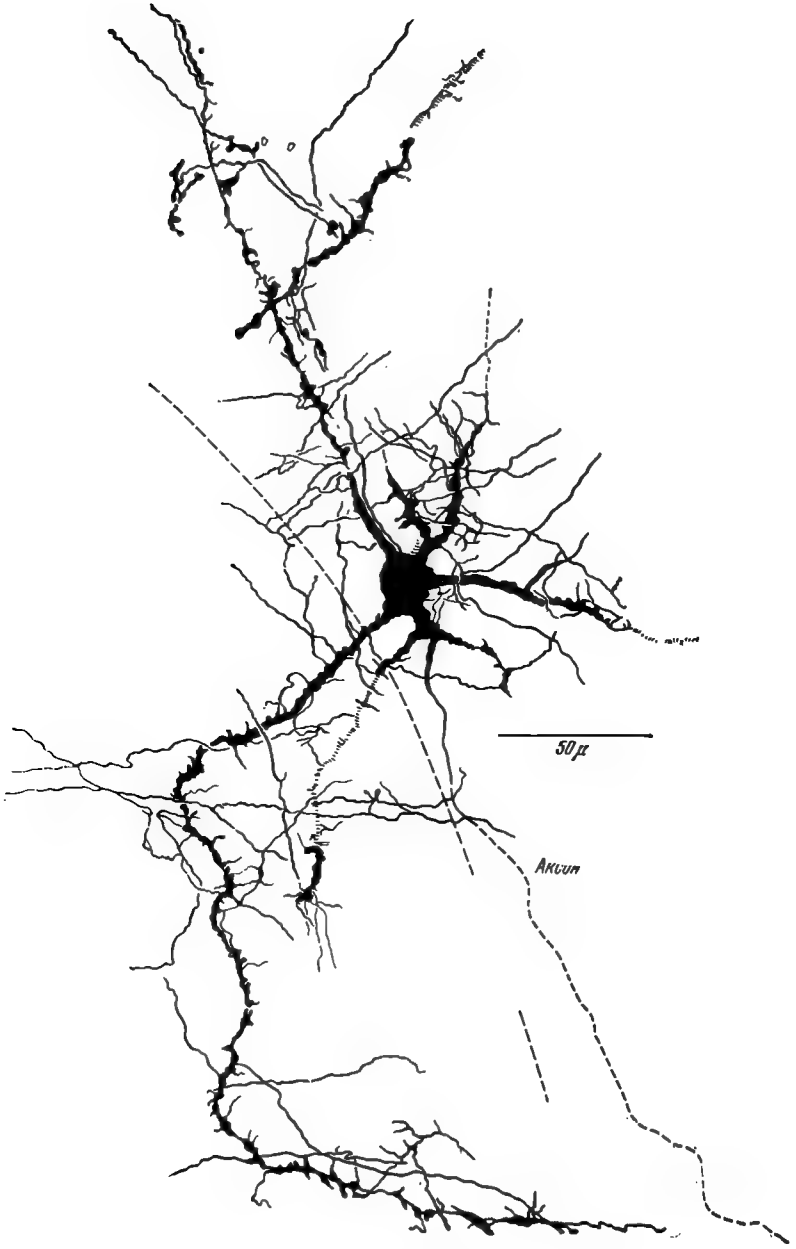
# МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ (НЕЙРОНЫ И НЕЙРОННЫЕ СЕТИ)

## Нейроны

Прежде чем говорить о возможностях моделирования мозга как управляющего центра разумных действий, нужно представить себе элементы сложнейшей нервной системы — нейроны и попытаться создать их модели.

Значительная или даже, пожалуй, основная часть ведущихся ныне исследовательских работ по бионике посвящена созданию аналогов биологического нейрона — нервной клетки, являющейся основным элементом нервной системы.

Конечная цель этих работ — создание систем, предназначенных для накопления, обработки и передачи большого количества информации, электронных машин, способных решать любые сложные задачи без предварительного программирования, различных самообу-




Р и с. 90. Нейрон

чающихся, адаптивных (самоприспосабливающихся, самоорганизующихся устройств), обладающих малыми габаритами и высокой надежностью. Иными словами, речь идет о создании широкого комплекса автоматических систем, функционирующих по принципу, аналогичному законам деятельности и принципам организации живого мозга.

Что такое нейрон? Это нервная клетка человеческого мозга (рис. 90). В мозгу человека их около 15 млрд., и мы о них почти ничего не знаем. Нейрон был и остается величайшей загадкой. Трудно описать необычную сложность нервной системы человека. Каждый нейрон снабжен выходным каналом — аксоном. По нему передается возбуждение к какому-либо органу. Например, тело нервной клетки находится в спинном мозге, а ее аксон достигает мышц пальцев ноги. Если бы мы захотели сделать большую модель аксона, хотя бы в виде садового шланга (диаметром 4 см), то его длина оказалась бы больше 16 км. Другие отростки нейрона — дендриты — являются входом в тело нервной клетки. Аксоны и дендриты различных клеток переплетаются и соединяются во многих (до тысячи) контактных точках. Через эти контакты — синапсы — может передаваться возбуждение от аксона одного нейрона к дендриту другого.

Нейроны плотно окружены так называемыми глиальными клетками, которых раз в десять больше, чем нейронов. Раньше считали, что эти клетки лишь «закрепляют» нейроны на месте или помогают им питаться. Однако последние исследования показали: клетки глии активно участвуют в проведении нервных импульсов, в формировании реакций и некоторых проявлениях функций памяти. Похоже, что разум равномерно «размазан» по всем структурам нервной системы.

Нейрон как электрическая система — преобразователь импульсов (рис. 91). В спокойном состоянии он имеет по отношению к окружающей среде небольшое отрицательное напряжение, примерно 70 мВ, этот потенциал может меняться до +10 мВ. Как только потенциал нейрона достигает +10 мВ, начинает действовать своего рода обратная связь, которая самостоятельно приводит систему в исходное состояние и заставляет напряжение снизиться до потенциала покоя. При этом на выходе нейрона возникает импульс. В течение этого времени занятости, которое длится около 1 мкс, клетка не чувствительна к внешним воздействиям. Этот принцип имеет далеко идущие последствия.

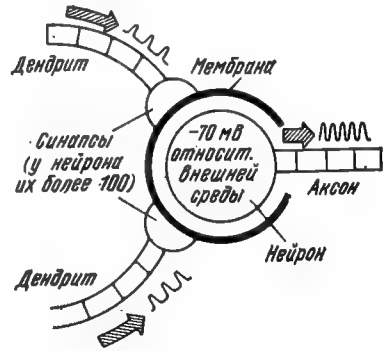



Рис. 91. Нейрон как электрическая система

Для возбуждения нервной клетки недостаточно импульса, приходящего только к одному из синапсов клетки, необходимо поч-

ти одновременное воздействие импульсов на несколько синапсов дендритов клетки. Если отдельные поступающие импульсы не достигают порогового значения, то в результате совместного воздействия многих импульсов (если они поступают одновременно) на выходе нейрона появится импульс. Это принцип действия схемы И в ЭВМ (далее о схемах И и ИЛИ рассказывается более подробно). Таким образом, нервная клетка является своего рода цифровой системой, подобной той, которой мы пользуемся в ЭВМ.

Если на многие отдельные входы нейрона подать несколько смещенных по времени групп импульсов, то они с помощью нейрона автоматически складываются в пачки. Этот процесс похож на своего рода осмысливание. Убедимся в этом на примере глаза.

Ученые, занимающиеся анатомией и развитием глаза, показали, что сетчатка, в сущности, не что иное, как часть самого мозга: при развитии зародыша часть мозга выносится вперед, из нее назад вырастают длинные волокна, которые связывают ее с остальным мозгом. По своей организации сетчатка весьма похожа на мозг. По этому поводу кто-то прекрасно сказал, что это «мозг выдумал, как ему взглянуть на мир». Глаза — это кусочки мозга, которыми он, так сказать, «касается света», внешнего мира. В трех слоях клеток глаза проводится анализ, результаты которого передаются по зрительному нерву в мозг.

Интересные эксперименты, подтверждающие это, были проведены с глазом краба-мечехвоста. Его глаз содержит около тысячи светочувствительных элеменов — омматидиев.

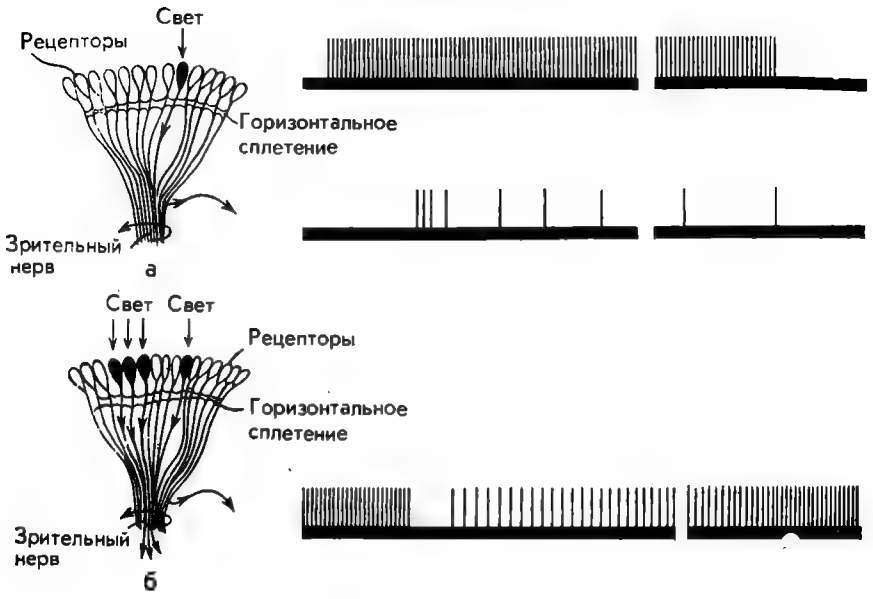



Рис. 92. Импульсы омматидия

Если на зрительный нерв краба наложить небольшие электроды и осветить с помощью линз только один омматидий (рис. 92), то на осциллографе мы увидим серию частых импульсов. Через некоторое мгновение частота их становится меньшей (импульсы идут реже (рис. 92, *а*). Если свет направить на какой-либо другой омматидий, то импульсов не будет.

Если же мы осветим первый омматидий и получим те же импульсы, а затем направим свет на соседний, то на короткое время импульсы прекращаются, а затем «бегут» снова, но с заметно меньшей частотой (рис. 92, *б*). Оказывается, импульсы, возникающие во втором омматидии, затормаживают импульсы первого.

Другими словами, хотя каждый нерв и несет информацию о своем омматидии, количество этой информации подавляется сигналами от другого омматидия. Например, когда более или менее равномерно освещен весь глаз, то сигнал, пришедший от любого отдельного омматидия, будет относительно слабым, ибо он подавлен множеством других сигналов. Торможение, как говорят, аддитивно (торможения складываются), т. е. если мы осветим несколько соседних омматидиев, торможение будет очень сильным. Торможение оказывается большим, если омматидии расположены близко, и оно практически сводится к нулю, если омматидии удалены друг от друга. Это первый пример, когда информация от различных частей глаза перерабатывается в нем самом.

Небольшое отвлечение сделано нами и для того, чтобы показать, что нервные импульсы можно наблюдать на экранах осциллографов. Их природу и поведение ученые исследуют экспериментально. Это пока лишь первые, самые робкие шаги в неизведанную интереснейшую область изучения природы мышления.

К сказанному о свойствах нейрона как цифрового коммутационного элемента можно добавить следующее: он может хорошо осуществлять аналоговые вычислительные операции, преобразовывать интенсивность в последовательность импульсов, складывать и умножать.

Нейрон, как уже отмечалось, преобразователь с двоичным выходом, т. е. с отсутствием или наличием сигнала. На нейрон биологического организма может подаваться возбуждающий или тормозящий импульс. Первый вызывает «срабатывание» нейрона, если энергия, накапливаемая нейроном за определенный отрезок времени, превысит некоторое, как говорят, пороговое значение. Если амплитуда импульса мала, нейрон не «сработает». Но если последовательно действует несколько слабых сигналов, энергия которых в общей сложности превышает пороговое значение, то нейрон «срабатывает». Это означает, что он обладает свойством временного и пространственного суммирования. На выходе нейрона образуются импульсы определенной амплитуды и длительности.

Последовательным или временным суммированием называют такое возбуждение нейрона, когда раздражения, меньшие пороговых, следуют через достаточно короткие промежутки времени. Пространственное суммирование состоит в одновременном подве-

дении к двум или нескольким синапсам отдельных раздражений, более слабых, чем пороговые значения. В сумме они могут вызвать возбуждение нейрона.

Модель нейрона изображена на рис. 93. У нее множество входов, куда поступают сигналы $p_1$, $p_2$, ..., $p_n$, которые действуют через синаптические контакты $s_1$, $s_2$, ..., $s_n$. В этих контактах поступающий сигнал задерживается на время, в течение которого выделяется особое вещество, повышающее возбудимость нейрона и облегчающее реакцию клетки на последующие импульсы.

Воздействие на тело нейрона определяется суммой воздействий от всех входов и сигналами, действовавшими до этого. Нейрон срабатывает, если воздействие превысит пороговое значение $K$. Тогда на выход нейрона поступает стандартный сигнал $P$.

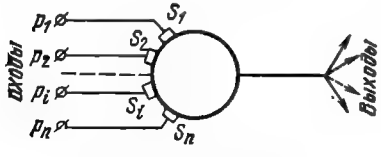
Мы уже отмечали, что сразу же после воздействия возбуждающего импульса пороговый уровень нейрона возрастает. Значит, никакой вновь приходящий сигнал не заставит его «срабатывать». Такое состояние сохраняется обычно в течение нескольких миллисекунд, затем пороговый уровень снижается. Что касается тормозящего импульса, то он представляет собой запретный сигнал, делающий невозможным «срабатывание» нейрона от импульсов других входов.

Для моделирования нейронов применяется главным образом метод физического моделирования. Это естественно: создавая такую модель, инженеры стремятся создать элементы для электронных или иных вычислительных машин будущего. Конечно, это должно быть вполне реальное устройство, по возможности, более компактное и дешевое. Метод математического моделирования применяется главным образом при моделировании нейронных сетей.

Прежде чем работать над моделью, необходимо из всего многообразия свойств живой нервной клетки выбрать те, которые кажутся наиболее существенными для выполнения поставленной экспериментатором задачи. Этот процесс часто называют формализацией нейрона. Первая модель нейрона, дающая его формальное описание и позволяющая применять аппарат математической логики для анализа и синтеза сетей из нейронов, была предложена У. С. Мак-Каллоком и У. Питтсом. Допущения, введенные ими, сводятся в основном к тому, что нейрон:

1) имеет $n$ входов и один выход (аксон) с одной или несколькими концевыми пластинами;

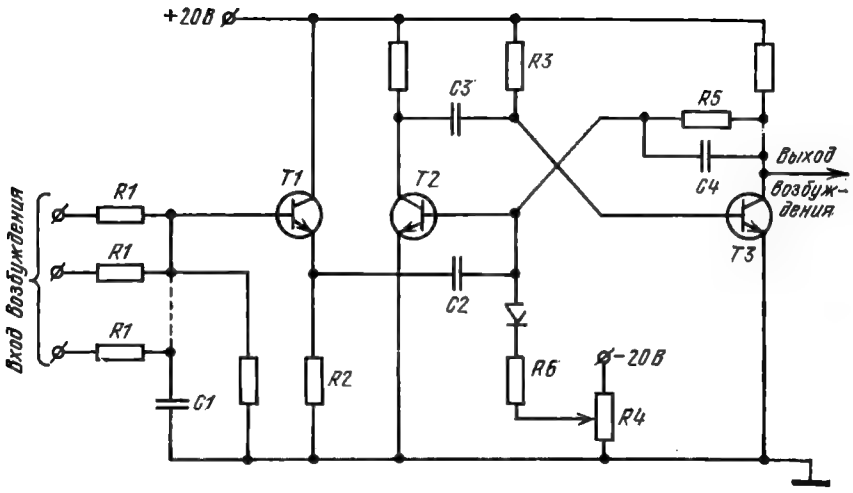
2) может находиться в одном из двух состояний: возбуждения или покоя (т. е. работает по принципу «все или ничего»);



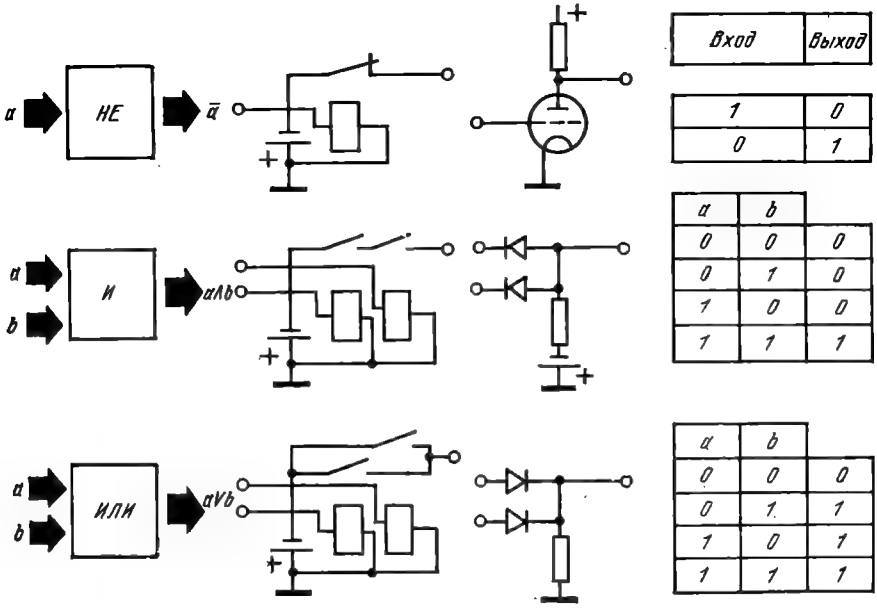

Р и с. 93. Модель нейрона

3) входы (синапсы) бывают возбуждающими и тормозящими; активность какого-либо тормозящего синапса абсолютно исключает возбуждение данного нейрона;

4) характеризуется некоторым определенным числом синап-




Р и с. 94. Модель нейрона Мак-Каллока—Питтса




| Вход | Выход |
|---|---|
| 1 | 0 |
| 0 | 1 |

| a | b | |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 |

| a | b | |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 |

Р и с. 95 Логические устройства из реле

сов, при одновременном возбуждении которых он сам приходит в состояние возбуждения, это число не зависит от предыдущего состояния нейрона и от расположения синапсов на нем.

Легко видеть, что три последних положения лишь частично отражают реальные свойства нейрона. Дело в том, что эта модель является математической абстракцией, предназначенной для моделирования нейронных сетей на цифровых вычислительных машинах. Электронные модели нейрона гораздо точнее копируют его свойства.

Для имитации нейронов применяются магнитные ферритовые сердечники, схемы специальных генераторов (мультивибраторов) и другие устройства. Модель нейрона Мак-Каллока и Питтса с мультивибратором показана на рис. 94.

Такая схема позволяет воспроизвести многие характеристики нейрона, кроме его способности адаптации, т. е. изменения порога срабатывания в зависимости от величины входных сигналов. Следует иметь в виду, что нейронная схема Мак-Каллока и Питтса является очень упрощенной моделью нейрона. Биологический нейрон значительно сложнее. Один биологический нейрон способен сочетать в себе функции, для реализации которых потребовалась бы целая сеть упрощенных нейронов. Но полная модель была бы необозримой и не поддающейся анализу теми аналоговыми и математическими средствами, которыми мы в настоящее время располагаем.

В действительности сами генераторы нейронных сигналов являются решающими элементами необычайно тонкой структуры, каждый из которых принимает решение о подаче выходного сигнала на основании сложной зависимости от серии сигналов, поступающих на каждый из его синапсов или на рецепторную область, а также в зависимости от его собственного внутреннего состояния.

Для упрощения моделей инженеры интерпретировали информацию, полученную от нейрофизиологов, таким образом: нейрон с его способностью находиться только в двух состояниях (возбуждения и торможения) представляет собой (упрощенно) биологический вариант двухпозиционного реле — электронного или любого другого. Возможности отдельного нейрона, так же как и одного реле, весьма ограничены. Из множества нейронов или реле, работающих на замыкание и размыкание контактов, можно построить логические сети, выдающие на своем выходе, в зависимости от поступающих входных сигналов, различные разумные решения.

Как известно, электромагнитное реле представляет собой небольшую магнитную катушку на железном сердечнике, притягивающемся к сердечнику якоря, и связанных с ним двух или больше пар контактных пластин, которые включаются в электрическую цепь. Если к магнитной катушке прикладывать напряжение, то сердечник намагничивается, притягивает якорь и контактные пластины либо соединяются, либо разъединяются. В результате создается или нарушается электрическая связь, которая была в состоянии покоя реле. Первая электрическая машина Цузаса содержала

2000 электромагнитных управляемых переключателей, а машина Айкена — 3000.

Одного реле достаточно, чтобы построить схему отрицания. Ее входом является обмотка реле, выходом — контактные пластины, одна из которых связана с батареей. Если на входе нулевое напряжение, т. е. на обмотке реле нет напряжения, то обе контактные пластины соединяются, а напряжение батареи подключается к выходу — там появляется 1 (рис. 95).

Если на вход 1 подать напряжение (магнит возбуждается), то контакты прерываются и батарея отключается. На выходе появляется 0. Это свойство схемы отрицания (НЕ).

Для схем И и ИЛИ нужны два реле с рабочими контактами, которые разомкнуты при невозбужденных магнитных катушках. Для реализации схемы И пары контактов обоих реле соединяются последовательно. В этом случае, когда к обеим катушкам реле одновременно приложено напряжение, обе пары контактов будут замкнуты, напряжение батареи подключится на выход и там появится 1.

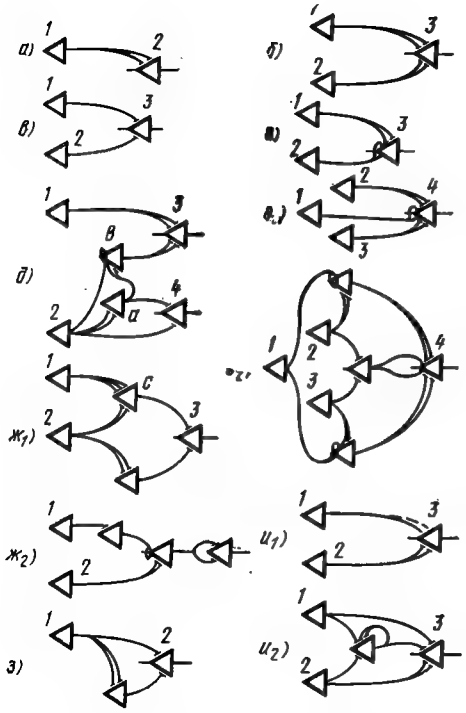
Если только на одном из входов 0, то и на выходе будет 0. В схеме ИЛИ обе пары контактов включены параллельно. В этом случае достаточно, чтобы напряжение было подано на одно или другое реле, чтобы на выходе схемы появилась 1 (напряжение батареи).

## Варианты взаимодействия нервных клеток

Пределы познавания и соответственно моделирования нервной системы безграничны. Мы хотим предложить читателю не готовые модели, а только варианты схем различного взаимодействия нервных клеток с участием аксонов и синапсов.

Возможно, что эти схемы наведут читателей на мысли о построении подобия нервных сетей и практическом использовании их в технических моделях.

Несколько возможных вариантов нервных сетей представлено на рис. 96. На рис. 96,*а* показана схема простой передачи возбуждения от нейрона *1* к нейрону *2*. Здесь нейрон *2* всегда находится в таком же состоянии, как *1*: он возбужден (1) или не возбужден (0). На рис. 96,*б* связь отличается тем, что нейрон *3* может возбуждаться от нейрона *1* и *2*, правда, при последовательном воздействии возможны задержки возбуждения нейрона *3*. На рис. 96,*в* показана сеть, в которой нейрон *3* возбуждается при одновременном возбуждении нейронов *1* и *2*. На рис 96,*г* затормаживающий синапс характеризуется шлейфом (петлей); при этом предполагается, что при возбуждении нейрона *2* воздействие обоих синапсов нейрона *1* не оказывает на нейрон *3* никакого влияния, т. е. этот нейрон может возбудиться только тогда, когда возбужден *1*, а *2* не возбужден (абсолютное торможение). Сеть на рис. 96,*д* имеет два выхода; нейрон *3* возбуждается только тогда, когда он принимает раздражение от *1* или когда нейрон *2* возбужден, но не два раза подряд. Точнее,



Р и с. 96. Варианты нервных сетей

из непрерывной последовательности раздражений дальше проводится только последнее раздражение. В противовес этому выход *4* возбуждается только тогда, когда нейрон *2* получает раздражение два раза подряд или много раз, в результате чего отдельные раздражения остаются недейственными, в то время как при связанной последовательности раздражений передаются все раздражения (число их уменьшается на 1).

Если *1* — окончание рецептора тепла, а *2* — холода на поверхности тела и далее *3* передает тепловое раздражение к мозгу, а *4* — холода, то можно с помощью описанной системы моделировать случай, когда при кратковременном соприкосновении нашей кожи с холодным предметом ощущается тепло, а при продолжительном — холод. На рис. 96, $e_1$ показано относительное торможение, нейрон *1* действует тормозяще только тогда, когда возбуждены нейроны *2* или *3*; если возбуждены оба нейрона одновременно, то торможение неэффективно. На рис. 96,$e_2$ показана такая же характеристика для абсолютного торможения и запаздывания (замедления).

На рис. 96,*ж* наглядно представлено торможение с запаздыванием. Три ветви вызывают сильное раздражение, так что после какого-то времени клетка 96, *в* подвергается торможению и раздражение, поступающее от нейрона *2*, дальше не распространяется.

В последующую единицу времени это тормозящее воздействие уже затухнет. Система на рис. 96, $ж_2$ имеет такие же характеристики, как и 96, $ж_1$.

На рис. 96,*з* раздражение должно быть вызвано один-два раза, нейрон *2* мог передать раздражение дальше, получить $n$ раздражений на входе и $n$—1 раздражений на выходе. Подтверждение условного рефлекса Павлова дают обе системы на рис. 96, $u_1$ и $u_2$. На рис. 96, $u_1$ предполагается, что при одновременном раздражении нейронов *1* и *2* появляется обозначенная штриховой линией ветвь, вследствие чего нейрон *3* может возбудиться только посредством нейрона *1*. В системе на рис. 96, $u_2$ нет необходимости образования новых элементов: средняя клетка имеет положительную обратную

связь. Если нейроны *1* и *2* получат раздражение одновременно, то средняя клетка с этого момента всегда находится в возбужденном состоянии, так что только нейрон *1* может возбудить нейрон *3*.

Следует сказать, что приведенные схемы являются только идеализированными набросками анатомических нервных систем, а шлейфообразное окончание тормозного синапса в схемах является полностью гипотетическим.

## Модели логического поведения животных

На основе описанных схем нервных сетей можно создать технические модели простейших логических систем.

Простейшие игрушки-роботы, состоящие всего из нескольких деталей (чувствительных, исполнительных и коммутирующих устройств), создавались и создаются и кибернетиками-любителями для развлечения и учеными для решения серьезных задач. Многие из них описаны в литературе и имеют большое принципиальное значение.

Одной из первых таких игрушек-роботов была «черепашка» англичанина Уолтера Грея (рис. 97). Это миниатюрная тележка на колесиках, снабженная двумя электромоторчиками: один вращает

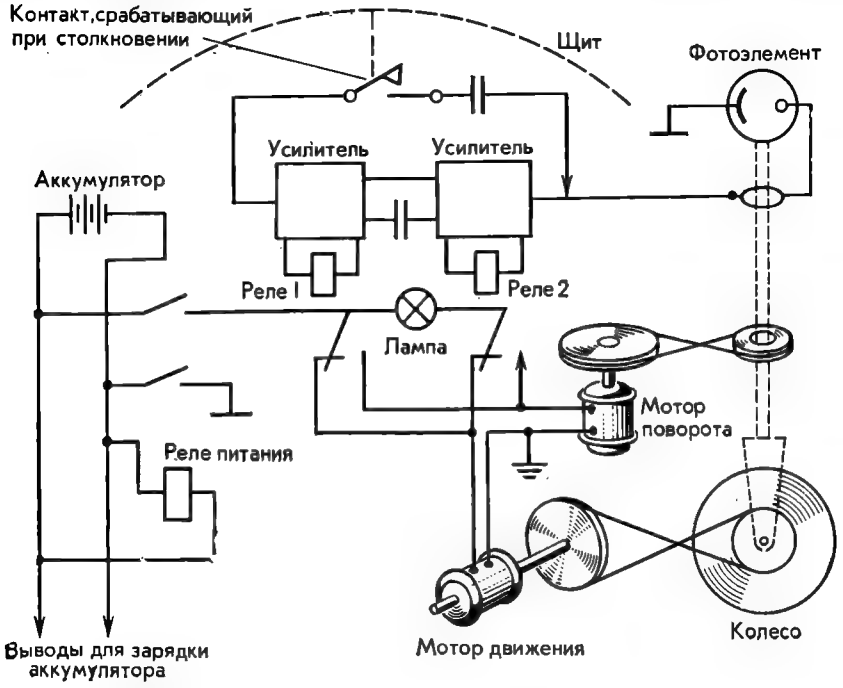



Рис. 97. Схема «черепашки» Уолтера Грея

колеса, другой поворачивает руль. На тележке кроме источника питания установлены также фотоэлемент, электрический контакт с усиком, замыкающим его при соприкосновении с препятствием; несколько реле и электрическая лампочка и т. д. Несмотря на то, что «черепашка» является примитивным устройством, она обладает любопытными свойствами. В темноте или при слабом свете она беспорядочно ползает, будто что-то ищет, натыкаясь на препятствия, пытается их обойти. При достаточно сильном источнике света «черепашка» решительно направляется в его сторону. Однако, подойдя к свету слишком близко, она поворачивается и двигается вокруг источника света, находя для себя «оптимальные условия» и непрерывно поддерживая их.

Интересна также игрушка-робот Эдмунда Беркли, которую он построил с помощью школьников. Она представляет собой тележку с моторным приводом и моторным управлением, но у нее больше чувствительных, коммутирующих и исполнительных элементов, чем в «черепашке» Грея. Игрушка «специализирована» для определенной работы — собирания с пола разбросанных в беспорядке белых шариков (мячей для игры в гольф) и складывания их в определенном месте. Авторы назвали игрушечного робота «белка» по аналогии с живой белкой, собирающей орехи и складывающей их в гнездо. «Белка» имеет два фотоэлемента — две «лапки», которые могут раздвигаться или сдвигаться на уровне пола, образуя чашечку, язычок внутри чашечки и металлический хвостик, волочащийся по полу. Кроме того, в «организме» «белки», т. е. в ее схеме, имеются коммутирующие реле и фильтр, позволяющий различать постоянный и переменный токи.

В какой же обстановке работает «белка»? Большая пустая комната освещена лампами накаливания. По полу в беспорядке разбросаны белые шарики. В одном из углов лежит металлический лист, освещенный люминесцентной лампой, — это «гнездо» «белки». «Белка» наугад ищет, пока в поле зрения фотоэлементов — «глаз» — не попадает белый шарик. Тогда она направляется к нему, раздвигает «лапки», останавливается, сдвигает «лапки», захватывая шарик. «Язычком», находящимся между «лапками», «белка» обнаруживает шарик. Затем она поворачивается и ищет «гнездо». Поскольку оно освещено мигающим светом люминесцентной лампы (в отличие от непрерывного света ламп накаливания), электрический фильтр позволяет ей распознать направление. «Белка» направляется к гнезду, заползает на металлический лист и останавливается на нем, так как замыкание контакта между листом и ее металлическим хвостиком дает знать, что она «дома». «Белка» раздвигает «лапки», выбрасывая шарик, и снова направляется на поиски следующего шарика.

Схему коммутации между чувствительными и исполнительными элементами можно очень быстро и без труда составить с помощью законов алгебры логики, после того как сформулированы все операции, которые должна выполнять «белка».

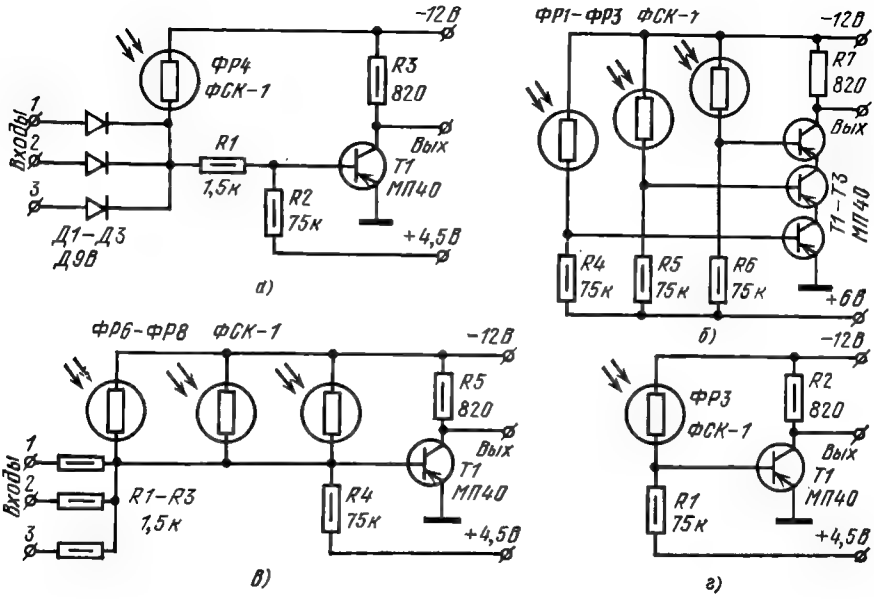
## Примеры моделирования логических элементов

Логические элементы широко применяются в различных автоматических электронных устройствах. В связи с этим большой интерес представляют оптико-электронные логические элементы, используемые в автоматах, автоматических моделях, роботах и других электронных устройствах, управляемых светом. Мы приведем несколько схем некоторых логических элементов, которые могут быть использованы при разработке различных конструкций. Все логические элементы изготовлены на базе типовых с отдельным источником напряжения смещения.

*Логические элементы* **И**. Элемент (рис. 98, *а*) состоит из диодной схемы совпадения с фоторезистором *ФР4* и инвертора, выполненного на транзисторе *Т1*.

При поступлении на электрические входы *(1—3)* элемента сигналов отрицательного напряжения (4—12 В) и при одновременном освещении фоторезистора *ФР4* (оптический вход) *Т1* открывается, напряжение при этом на выходе устройства по абсолютному значению мало( около 1 В). Если на одном из входов элемента сигнал отсутствует, то транзистор закрыт и напряжение на выходе такого логического элемента будет приблизительно равно напряжению источника питания. При этом *Т1* закрыт положительным напряжением смещения (4—6 В), подаваемым от дополнительного источника.

Второй логический элемент И (рис. 98,*б*) имеет три оптических входа (фоторезисторы *ФР1—ФР3*), но работает так же, как пре-




Р и с. 98. Логические элементы И, ИЛИ, НЕ

дыдущий элемент. Число входов может быть и меньше трех. Увеличение их нежелательно, так как при этом увеличивается напряжение на выходе устройства (по абсолютному значению) при открытых транзисторах.

*Логический элемент* **ИЛИ** (рис. 98, *в*). Он имеет три электрических входа *(1—3)* и три оптических (фоторезисторы *ФР6 — ФР8*). Если на входы устройства не поступает сигнал, транзистор *Т1* закрыт положительным напряжением смещения, подаваемым на базу транзистора. При воздействии сигнала на один из входов элемента транзистор *Т1* открывается и напряжение на выходе близко нулю.

*Логический элемент* **НЕ** (рис. 98, *г*). Элемент выполняет логическую операцию отрицания, т. е. если на оптический вход устройства (фоторезистор *ФР3*), который является единственным, поступает сигнал, то на выходе он отсутствует (напряжение на коллекторе открытого транзистора *Т1* мало). Элемент называется также инвертором.

## Простейшие модели с использованием логических устройств

Как заставить модель обходить, не задевая, встречающиеся на пути предметы? Сделать в домашних условиях локатор сложно, да он и не нужен. «Глазами» автомобиля или робота могут быть фотодатчики. Свет фар, отраженный от преграды и принятый фотодатчиками, «расскажет» логическому устройству (вычислительной машине в миниатюре) ситуацию на дороге. Логическое устройство примет нужное решение и отдаст команды исполнительным реле: зажечь подфарники («мигалки») и повернуть направо или налево; продолжать путь по прямой; включить предупреждающие красные подфарники, звуковой сигнал или заднюю фазу с фотодатчиком и двигаться назад, если оба передних датчика зафиксировали препятствие.

## Структурная схема устройства

Схема (рис. 99) имеет три входа (фотодатчики *ФР1—ФР3* типа ФСК-1, с которых сигнал поступает в предварительные усилители, а затем на входы логической схемы, выполненной на транзисторах *Т1—Т19*. Принцип действия логического устройства поясняется схемами и таблицами (рис. 100). Импульсы, выработанные в результате анализа входной информации, поступают на усилители, в нагрузке которых стоят реле *Р1—Р5* (рис. 101). Эти реле и являются конечным пунктом решающего устройства. Реле *Р1* включает электродвигатель автомобиля; *Р2*—электромагнит (*ЭМ1*), который стабилизирует передние колеса в прямом направлении; *Р3*—электромагнит *ЭМ2*; мультивибратор *Мв1* «мигалки» *Л6* (рис. 101, 102); *Р4*—электромагнит *ЭМ3* и мультивибратор *Мв2* «мигалки» *Л7*; *Р5* включает электродвигатель «назад», заднюю фа-

ру *Л3*, предупреждающие красные подфарники *Л4*, *Л5* и звуковой сигнал. Когда *Р5* выключено, модель движется вперед.

Состояние различных органов управления автомобилем в зависимости от сигналов фотодатчиков можно увидеть в табл. 4, которой, кроме того, можно пользоваться для проверки правильности подсоединения реле к исполнительным устройствам. В столбцах 2—4 перечислены все возможные варианты сигналов датчиков, а далее указано, какой узел схемы должен работать в данной ситуации. Таким образом, таблица, положенная в основу проектируемой схемы, служит одновременно программой действий устройства в различных условиях. Логическая схема данной модели не имеет памяти, т. е. исполнительные механизмы включены лишь в то время, пока предмет, преграждающий путь модели, находится в поле зрения. Лишь только модель отъехала от препятствия, она тут же будет продолжать путь по прямой.

*Конструкция.* Принципиальная схема логического устройства понятна. Можно заметить, что схема составлена из нескольких повторяющихся узлов. Их монтаж легко и быстро выполняется на печатной плате или нескольких платах, которые затем собираются в «этажерку». А так как электронные схемы почти не требуют отладки, то от конструктора высокой квалификации не потребуется.

С чего же начать постройку модели? После подбора необходимых деталей надо сделать печатную плату (или платы — в зависимости от конструкции и места, отведенного под электронные схемы). Одного комплекта батарей хватает на 8—10 ч непрерывной работы модели.

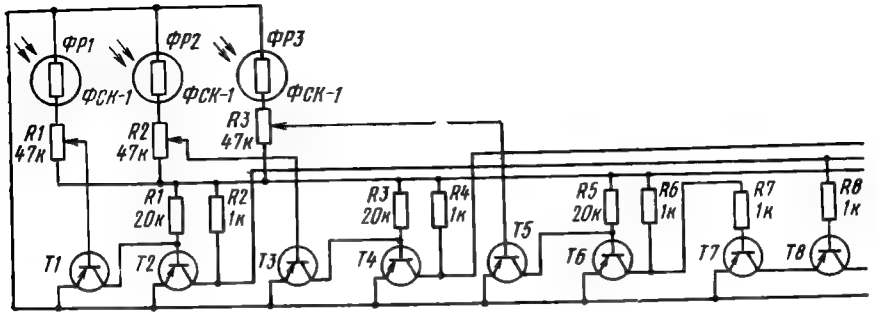
*Регулировка.* Настройка модели сводится к подбору порога срабатывания фотодатчиков регулировкой резисторов *R1—R3*. Если вы захотите изменить частоту звукового сигнала или мигания лампочек подфарников, измените емкости конденсаторов *С1—С6*.

Такую систему управления не обязательно устанавливать на автомодель или в роботе, ее можно использовать на любой движущейся конструкции — тракторе, экскаваторе, бульдозере и т. д. Логическая схема позволяет также делать различные заградительно-сигнализирующие устройства, электронные замки. Если фотодатчики заменить тензодатчиками (реагирующими на давление), термодатчиками (реагирующими на изменение температуры), емкостными или индукционными датчиками, то применение логической схемы можно намного расширить.

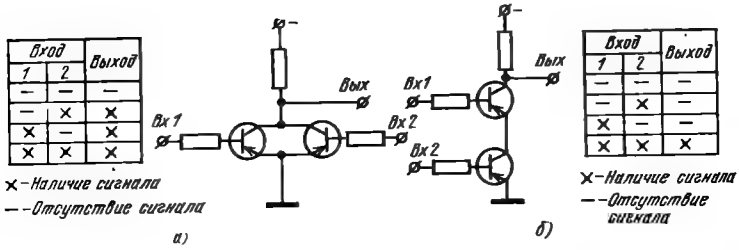
*Сборка схемы.* После монтажа еще раз проверьте правильность установки всех деталей и только после этого подключите напряжение питания и посмотрите, как работает схема на макете.

В качестве источника света в модели робота можно использовать инфракрасный импульсный передатчик на лампе типа ИФК для фотовспышки. С таким мощным передатчиком робот сможет обнаруживать препятствия на расстоянии до 5 м.

*Детали.* Модель собрана на транзисторах типа МП42, но можно заменить их транзисторами типа МП39 — МП41 с коэффициентом усиления $\beta = 30—40$ и малым $I_{ко}$.




Р и с. 99. Функциональная логическая схема:
ФР1, ФР2, ФР3 — правый, левый и задний датчики



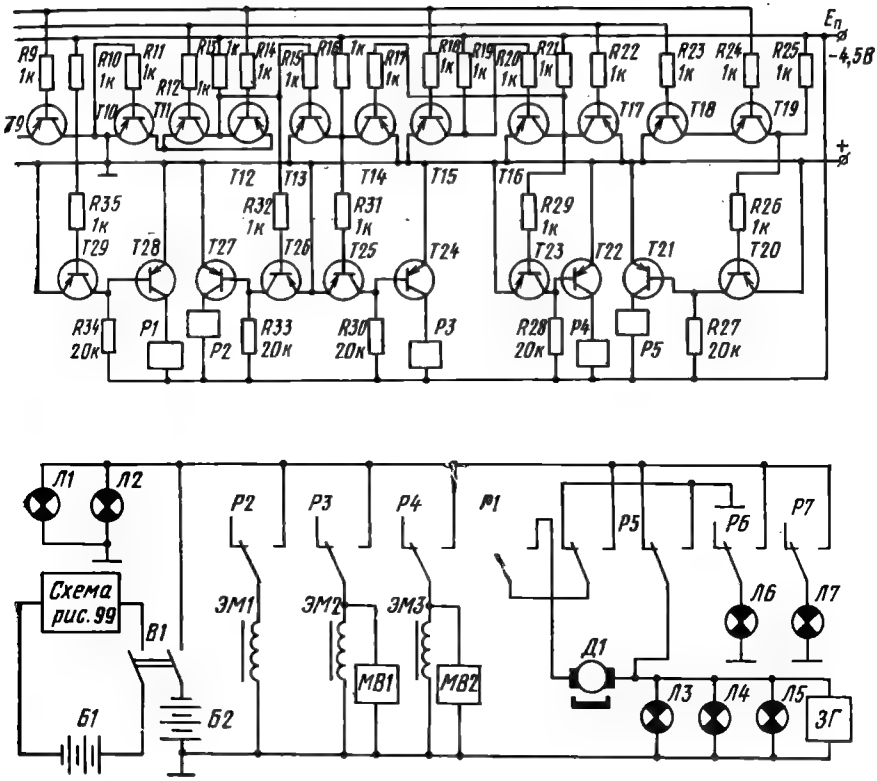

Р и с. 100. Принцип действия логического устройства:
*а* — схема логического элемента ИЛИ—НЕ; *б* — схема логического элемента И—НЕ

Все реле в модели — малогабаритные, типа РЭС-10, за исключением *Р5,* в котором должно быть две пары переключающих контактов. Здесь используются реле типа РЭС-6. Фотодатчиками служат фоторезисторы ФСК-7а.

Громкоговоритель должен иметь сопротивление звуковой катушки не менее 40 Ом. Годятся капсулы ДМШ, ДМ-4М или любой низкоомный громкоговоритель с выходным трансформатором.

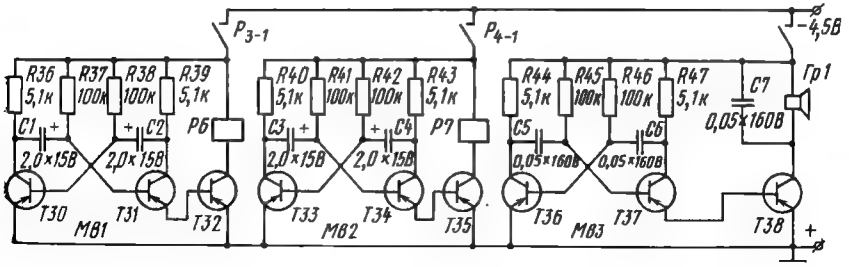
Переключателем В1 служит обычный тумблер типа Т-3. Лампочки фар рассчитаны на напряжение 2,5 В, а лампочки подфарников — на 3,5 В.

Электронная часть модели питается от двух параллельно соединенных элементов КБС Л-0,5, а исполнительные цепи — от шести батарей типа «Сатурн», соединенных попарно в батарею напряжением 4,5 В. Для исключения ложных срабатываний реле необходимо отделять источники питания электронной части схемы и исполнительных механизмов.




Р и с. 101. Подключение исполнительных механизмов:

*Л1, Л2* — передние фары; *Л3* — задняя фара; *ЭМ2* — осуществляет поворот влево; *ЭМ3* — вправо. *ЗГ* — звуковой генератор (сирена)




Р и с. 102. Мультивибраторы, мигалки и звуковой генератор

Таблица 4

| Вариант состояния органов управления | Фотодатчики ФР1—ФР3 | | | Электромагнит поворота передних колес | | | Электродвигатель | | | Фары | | | Подфарники | | Звуковой сигнал ЗГ | Подфарники | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | ЭМ1 | ЭМ2 | ЭМ3 | включение | вперед | назад | Л1 | Л2 | Л3 | Л4 | Л5 | | Л6 | Л7 |
| 1 | | | | × | | | × | × | | × | × | | | | | | |
| 2 | | | × | | × | | × | × | | × | × | | | | | | × |
| 3 | | × | | | | × | × | × | | × | × | | | | | × | |
| 4 | | × | × | | | × | × | | × | × | × | × | × | | × | × | |
| 5 | × | | | × | | | × | × | | × | × | | | | | | |
| 6 | × | | × | | × | | × | × | | × | × | | | | | | × |
| 7 | × | × | | | | × | × | × | | × | × | | | | | × | |
| 8 | × | × | × | × | | | | | | × | × | × | × | | × | | |

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАМЯТИ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

## На пути к созданию искусственного мозга

Наши сведения о структуре и функциях мозга в настоящее время еще весьма неполны, зачастую они основаны лишь на догадках. О мозге мы знаем значительно меньше, чем о других органах живого существа. Каждый из нас необычайно мало использует возможности своей памяти, поэтому мы напоминаем обладателя огромного архива, который пока не нашел ключа к нему. Этот таинственный «ключ» и ищут сейчас ученые всего мира — бионики и инженеры, физики и врачи, математики и химики.

Человек всегда помнит больше, чем ему кажется. По свидетельству современников, Юлий Цезарь и Александр Македонский знали в лицо и по имени всех своих солдат, а ведь их было очень много — 30 тыс. А Алехин помнил все сыгранные шахматные партии и, не глядя на доски, мог одновременно играть с 30—40 партнерами.

Сейчас никто не в состоянии дать исчерпывающий ответ на все вопросы, связанные с деятельностью мозга: о механизме памяти,

об удивительной системе произвольного доступа к огромным запасам информации, хранящейся в мозгу, о гибкости и надежности памяти человека. Но великий русский физиолог И. М. Сеченов, очень хорошо понимавший титаническую трудность проблемы, утверждал, что предпосылки для понимания функций мозга состоят в «...строгом разборе его машинности».

Успехи кибернетики и бионики — лучшее доказательство справедливости этого тезиса. Новым наукам, развиваемым совместными усилиями физиологов, математиков и специалистов по электронике, союз которых оказался чрезвычайно плодотворным, по плечу любая задача. Рано или поздно ученые смогут узнать самые сокровенные тайны мозга.

Решение сложных задач с помощью электронных систем невозможно без устройств памяти. Все автоматы, о которых мы рассказали выше, хорошо умеют разбираться в потоках сигналов, поступающих на входы. Но, к сожалению, эти автоматы не извлекают уроков из своей деятельности. Один и тот же сигнал или совокупность сигналов вызывает у автомата всегда одну и ту же реакцию. А ведь известно, что наиболее интересными видами деятельности являются такие, которые используют память. Знающий, т. е. помнящий, действует лучше, чем незнающий. И если мы хотим, например, моделировать сложные поведенческие черты живых организмов, нам следует заняться конструированием устройств памяти автоматов.

## Двоичная система счисления — идеальная система для ЭВМ

Мы уже говорили о том, что в нервных сетях действуют законы двоичного счисления: 0 или 1, ДА или НЕТ. Какими особенностями отличается двоичная система? Почему именно ее избрали для ЭВМ?

Мы принимаем как должное счет до десяти, хотя в действительности десятичная система счисления, которой мы постоянно пользуемся, является одной из многих и вовсе не лучшей.

Вот как выглядит двоичная система (справа) по сравнению с десятичной:

| | |
|---|---|
| Один | —1 |
| Два | —10 (одна единица второго разряда) |
| Три | —11 |
| Четыре | —100 (одна единица третьего разряда) |
| Пять | —101 |
| Шесть | —110 |
| Семь | —111 |
| Восемь | —1000 (одна единица четвертого разряда) |
| Девять | —1001 |
| 10 | —1010 |
| 11 | —1011 |
| 12 | —1100 |

| | |
|---|---|
| 13 | —1101 |
| 14 | —1110 |
| 15 | —1111 |
| 16 | —10000 и т. д. |

Г. Лейбниц, впервые исследовавший двоичную систему счисления, еще в 1703 г. писал: «При сведении чисел к простейшим началам, каковы 0 и 1, всюду выявляется удивительный порядок...» Особенно восхищали Лейбница простотой правила двоичного сложения и умножения.

Двоичная система имеет недостатки, но все они покрываются огромным преимуществом: в каждом двоичном числе, как бы велико оно ни было, встречаются только две цифры — единица (1) и нуль (0). Только два различных значения, не более. Это обстоятельство делает двоичные числа идеальным инструментом для всех электронных вычислительных машин.

Конструктивным элементам, которые как-то способствуют решению задачи, не нужно различать десять различных единиц, десять различных элементов, достаточно двух. Например, реле может замыкать или размыкать контакты, т. е. существуют две возможности, электронные лампы, транзистор и диод имеют еще больше возможностей. Они, в принципе, в качестве ответа на десять различных входных напряжений могут выдать и десять различных выходных сигналов. Промежуточные значения в двоичной системе от них не требуются, и они имеют большую надежность. Поэтому машина считает в двоичной системе, хотя числа длиннее на входе и на выходе устройства, кроме того, их следует преобразовывать из двоичной системы в десятичную. Но вычислительные элементы машины становятся проще — они используют нуль или единицу (ИЛИ — ИЛИ, ДА или НЕТ). Они могут сложные цифровые расчеты объяснить простыми логическими решениями.

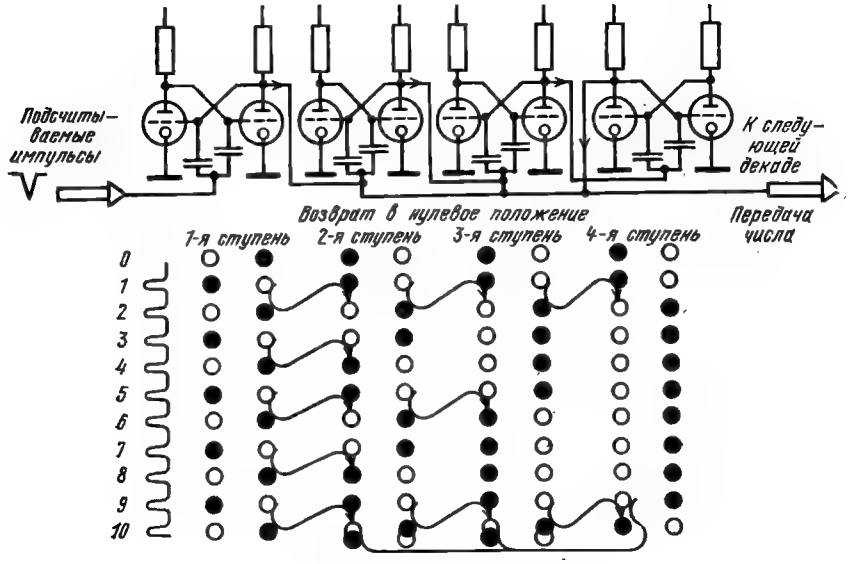
## Основные элементы ЭВМ

Логические операции счета в двоичной системе могут выполнять электромагнитные реле. Первые ЭВМ состояли из большого количества электромагнитных реле, которые своими контактами или размыкали электрическую цепь, что соответствовало 0 (нулю), или замыкали контакты, что соответствовало 1 (единице).

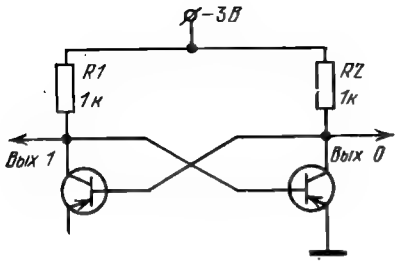
Но реле громоздки и ненадежны, поэтому в электронной вычислительной технике стали использовать бистабильные схемы (триггеры). Такие схемы, состоящие из двух взаимно управляемых ламп или транзисторов, имеют два стабильных состояния: левые лампы открыты, а правые блокированы (закрыты) или, наоборот, новый импульс, поступающий на схему, «опрокидывает» ее из одного положения в другое — из 1-го во 2-е или из 2-го в 1-е. При «опрокидывании» на выходе схемы, например на одном из обоих анодов (или коллекторов транзистора), возникает отрицательный или положи-

тельный «ответный импульс», который может служить для того, чтобы опрокинуть последующую коммутационную ступень. Если через промежуточные схемы диодов передавать дальше только отрицательные импульсы, то можно целые цепи таких переключателей связать в счетные схемы.

Рассмотрим схему (рис. 103) из четырех последовательно включенных бистабильных триггеров, под ней показаны ее состояния. Она просчитывает каждые десять поступающих импульсов, занимает позицию нуля и готова для учета следующего поступающего импульса. Пусть первая (левая) ступень находится в состоянии II, а все последующие ступени — в состоянии I. Когда первый считываемый импульс попадает на вход схемы, первая ступень переходит из состояния II в состояние I, при этом на выходе схемы появляется положительный импульс переноса, который не проходит дальше. Иначе обстоит дело со вторым импульсом, который опять переводит первую ступень из состояния I в II. Таким образом, следствием является «ответный импульс», который попадает на вторую ступень и также переводит ее из состояния I в состояние II. То же повторяется на 3-й и на 4-й ступенях. При третьем поступающем импульсе из состояния II в I переходит только 1-я ступень. Четвертый импульс переводит ее обратно из состояния I в II, создает при этом новый импульс и устанавливает 2-ю ступень опять из состояния II в I. И так до 10-го импульса: этот импульс в первый раз устанавливает 4-ю ступень из состояния II в I, а возникающий при этом импульс переноса, поступающий на 2-ю и 3-ю ступени, используется для обнуления счетчика и может быть использован как счетный импульс для последующей счетной декады.




Р и с. 103. Счетная схема




Р и с. 104. Триггер

Нетрудно из специфичных положений четырех отдельных ступеней найти подсчитываемое число (в двоичной системе). Это без большого труда осуществляют простые схемы из диодов и резисторов, а индикация осуществляется посредством так называемых цифровых индикаторов — ламп, в которых последовательно расположены изображения всех десяти цифр (от 0 до 9).

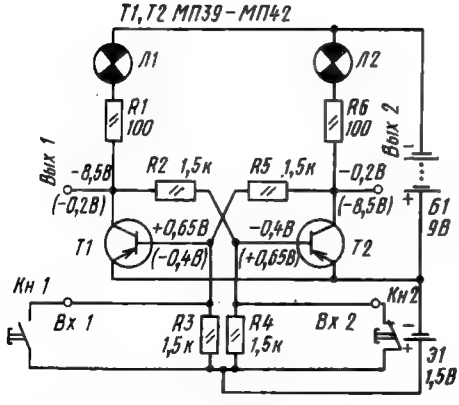
Если счетчик находится в положении 8, то зажигается только эта маленькая люминесцентная лампочка и в окошечке появляется ясно изображение одной цифры — 8.

С триггером — основным элементом любой ЭВМ мы познакомимся подробнее.

*Триггер.* Прежде чем приступить к моделированию счетных каналов ЭВМ, подробно рассмотрим работу триггера и расскажем, как собрать элементарную счетную ячейку.

Как видно из рис. 104, триггер — это двухкаскадный усилитель с непосредственной связью. Схема имеет два устойчивых состояния благодаря наличию отрицательной обратной связи.

Для выведения схемы из одного устойчивого состояния в другое необходимо внешнее воздействие, приводящее к открыванию закрытого транзистора. В результате этого схема переходит в другое крайнее состояние — открытый и закрытый транзисторы меняются местами. Это свойство триггера менять скачками напряжение от нуля до некоторого значения и наоборот позволяет самым экономным образом создавать электронное устройство, выполняющее арифметические операции — ЭВМ.




Р и с. 105. Триггер с раздельными входами

Скачки напряжений триггеров используются в ЭВМ для изображения цифр. Наличие напряжения обозначается цифрой 1, отсутствие его — цифрой 0. Так как иных возможностей не может быть, то ЭВМ «знает» всего две цифры: 1 и 0.

Свое название этот своего рода бесконтактный переключатель получил от английского слова trigger, что означает «спусковой крючок». Наиболее распро-

странен в практике транзисторный триггер с независимым смещением, с раздельными входами и с одним общим (счетным) входом.

Прежде чем познакомиться с пересчетными декадами, состоящими из последовательных цепочек триггеров, рассмотрим работу триггера с раздельными входами, а затем с одним общим (счетным) входом, являющегося основным элементом ЭВМ.

Триггер с раздельными входами (рис. 105) — это два усилительных каскада с жесткой обратной связью через резисторы *R2* и *R5*. Это обеспечивает триггеру два устойчивых состояния — когда один из его транзисторов открыт, а другой закрыт, и наоборот. Из одного устойчивого состояния в другое триггер переключается поочередной подачей управляющих импульсов положительной полярности на его входы. Для наглядного контроля за состоянием транзисторов схемы в цепь коллекторов транзисторов последовательно с резисторами *R1* и *R6* включены лампочки накаливания *(Л1* и *Л2)* напряжением 2,5 В и током 0,075 А. При открытом транзисторе *Т1* зажигается лампочка *Л1*, при открытом транзисторе *Т2* — *Л2*.

На рис. 105 триггер находится в состоянии, когда транзистор *Т1* закрыт и на его коллекторе (выход 1) напряжение (—8,5 В) почти равно напряжению источника питания — 9В (две батарейки 3336 Л). Транзистор *Т2* открыт, и на его выходе 2 напряжение почти равно нулю (—0,2 В).

Стоит кратковременно нажать кнопку *Кн2* на входе 2, как триггер перейдет в другое устойчивое состояние, так как при этом на базу транзистора *Т2* от элемента *Э1* (элемент 332) поступит положительный импульс. Триггер сохраняет свое устойчивое состояние сколь угодно долго. При подаче на базу *Т2* кнопкой *Кн2* положительного импульса транзистор *Т2* начнет закрываться, напряжение на его коллекторе станет отрицательным. Это приведет к открытию транзистора *Т1* и соответствующему уменьшению напряжения на его коллекторе. Благодаря отрицательным обратным связям через резисторы *R2* и *R5* процесс перехода триггера в новое устойчивое состояние происходит лавинообразно в течение нескольких микросекунд.

Напряжения на электродах транзисторов, соответствующие новому устойчивому состоянию триггера, показаны в скобках. При таком состоянии триггера транзистор *Т1* поддерживается открытым током базы, протекающим по цепи «плюс» батареи *Б1*, эмиттерный переход, резисторы *R5* и *R6*, «минус» батареи *Б1*. А ток, протекающий по цепи «плюс» элемента *Э1*, резисторы *R4*, *R2*, открытый транзистор *Т1*, «минус» элемента *Э1*, создает на базе транзистора *Т2* положительное напряжение, удерживающее этот транзистор в закрытом состоянии.

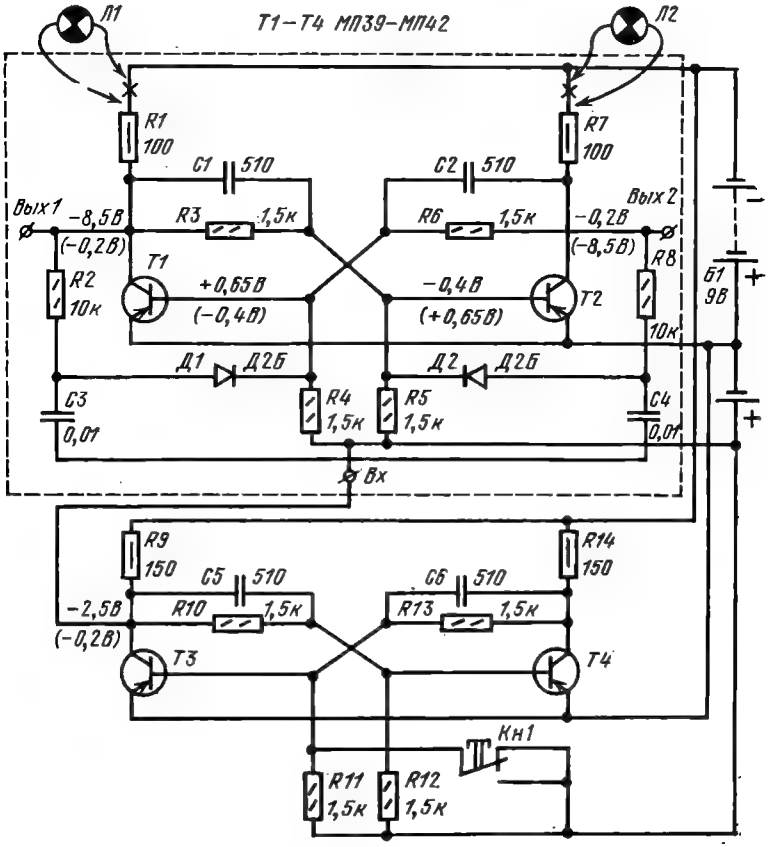
*Триггер со счетным входом.* Схема триггера этого вида (рис. 106) выделена штриховой линией. Он похож на уже знакомый триггер с раздельными входами, но содержит несколько дополнительных элементов: конденсаторы *С3* и *С4*, резисторы *R2* и *R8*, диоды *Д1* и *Д2*, и, кроме того, имеет всего один общий вход. Конденсаторы *С3*, *С4* и диоды *Д1*, *Д2* образуют цепи, через которые

на базы транзисторов *Т1* и *Т2* подаются входные импульсы, управляющие триггером.

Из одного устойчивого состояния в другое триггер переключается импульсами напряжения положительной полярности, подаваемыми на зажим «Вход» триггера. При отрицательных импульсах на входе изменения состояний триггера не происходит.

Подавать на вход такого триггера одиночные импульсы непосредственно кнопкой нельзя, так как в момент соприкосновения контактов кнопки в цепи возникает не один, а серия импульсов продолжительностью в несколько микросекунд. На схеме роль формирователя одиночных импульсов выполняет триггер с раздельными входами на транзисторах *Т3* и *Т4*, управляемый кнопкой *Кн1*.

В коллекторные цепи транзисторов, между резисторами *R1* и *R7* и «минусом» батареи *Б1*, включите индикаторные лампочки (2,5 В / 0,075 А), по свечению которых будете судить о состоянии транзисторов.




Р и с. 106. Триггер со счетным входом

Кнопки *Кн1* и *Кн2* у триггера с раздельными входами замените одной кнопкой с контактами на размыкание и замыкание. Роль датчика управляющих сигналов формирователя одиночных импульсов (*Кн1*) может также выполнять двухпозиционный тумблер.

Оба триггера соедините вместе.

Как работает триггер со счетным входом? При включении питания (батарея *Б1*) один из его транзисторов, как и в триггере с раздельными входами, открывается, другой транзистор закрывается. Будем считать исходным состоянием триггера такое, при котором транзистор *Т1* закрыт, а транзистор *Т2* открыт (горит лампочка *Л2*). Напряжения на электродах транзисторов, соответствующие такому состоянию триггера, указаны на рис 106. Если состояние триггера иное, то нажмите и тут же отпустите кнопку *Кн1*. При этом лампочка *Л2* должна загореться, а лампочка *Л1* погаснуть.

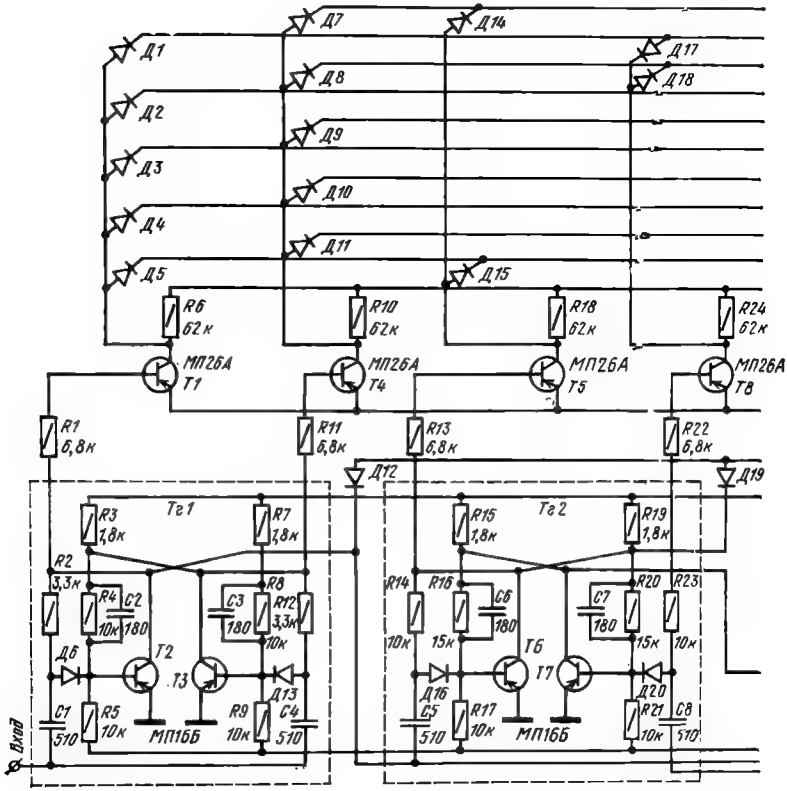
Закрытое состояние транзистора *Т1* и открытое состояние транзистора *Т2* поддерживается за счет цепей отрицательной обратной связи — точно так же, как в триггере с раздельными входами. В это время напряжение на базе закрытого транзистора *Т1* положительное, а на его коллекторе — отрицательное, поэтому диод *Д1*, подключенный к базе непосредственно, а к коллектору через резистор *R2*, закрыт, и база этого транзистора отключена от входа триггера. В то же время отрицательное напряжение на базе открытого транзистора *Т2* (около — 0,4 В) и небольшое отрицательное напряжение на его коллекторе (—0,2 В) открывают диод *Д2*, тем самым подключая вход триггера к базе транзистора *Т2* (через конденсатор *С4*). Переключение триггера в другое устойчивое состояние осуществляется подачей на его вход положительного импульса. Для этого надо лишь кратковременно нажать кнопку *Кн1*.

Исходное состояние транзистора *Т3* триггера — формирователя импульсов закрытое, транзистора *Т4* — открытое. На вход основного триггера импульсы напряжения подаются с коллектора транзистора *Т3*. При нажатии кнопки *Кн1* транзистор *Т4* закрывается, а транзистор *Т3*, наоборот, открывается. При этом напряжение на коллекторе транзистора *Т3* скачкообразно изменяется, становясь менее отрицательным. Это быстро увеличивающееся напряжение (начало импульса) поступает на счетный вход триггера. При отпускании кнопки *Кн1* транзистор *Т3* вновь закрывается, а транзистор *Т4* открывается. Таким образом, при каждом нажатии кнопки *Кн1* с коллектора транзистора *Т3* на вход триггера со счетным входом подается одиночный импульс положительной полярности.

Проследите за работой триггера, подавая на его вход несколько импульсов. Первый входной импульс через конденсатор *С4* и открытый диод *Д2* попадает на базу транзистора *Т2* и закрывает его. В результате переходных электрических процессов, как в триггере с раздельными входами, триггер переключается в другое устойчивое состояние, при котором транзистор *Т1* будет открыт, а транзистор *Т2* закрыт. В результате диод *Д2* окажется закрытым, а *Д1* — открытым. Возникающий на коллекторе транзистора *Т3* отрица-

тельный перепад напряжения (при отсутствии кнопки) не изменит состояния триггера. Второй входной импульс через конденсатор *С3* и диод *Д1* поступит на базу транзистора *Т1* и закроет его. В результате триггер переключится в первоначальное состояние, при котором транзистор *Т1* закрыт, а транзистор *Т2* открыт. Теперь диод *Д1* закроется, а диод *Д2* откроется. Такие же явления наблюдаются при следующих импульсах, подаваемых на вход триггера.

Таким образом, триггер из одного устойчивого состояния в другое переключается электрическими импульсами положительной полярности; сигналы положительной или отрицательной полярности, снимаемые с зажимов «Выход 1» или «Выход 2», могут быть использованы для управления другими электронными устройствами. Положительный импульс на выходе 1 появляется при поступлении на вход триггера каждого нечетного импульса, а на выходе 2— при поступлении каждого четного импульса; триггер, следовательно, делит частоту поступающих на его вход импульсов на два.



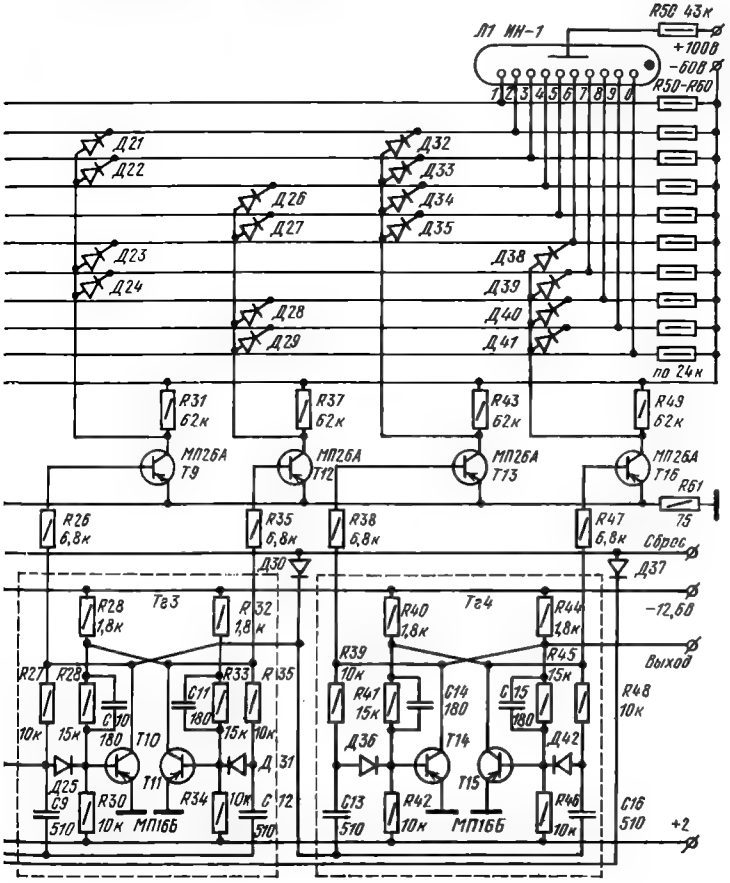

Р и с. 107. Счетчик

*Триггерные счетчики.* Мы уже говорили о том, что основным элементом ЭВМ, участвующим во всех вычислительных операциях, является триггер.

На основе триггеров можно создать множество занимательных конструкций, например действующие модели светофоров, увлекательные кибернетические игры.

В промышленности триггерные счетчики широко применяются в электронной измерительной аппаратуре с цифровой индикацией результатов измерений. Такие счетчики можно использовать и при конструировании робота, например для подсчета проходящих мимо него деталей или людей. Познакомимся с несколькими схемами счетчиков.

Счетчик импульсов (рис. 107) состоит из пересчетного устройства, дешифратора и цифрового индикатора. Максимальная скорость счета 250 кГц. Полярность всех импульсов: запускающих, выходных и импульсов сброса — положительная. Амплитуда запускаю-




импульсов

щих импульсов 6 В при длительности фронта не более 0,1 мкс, выходных 10 В, а импульсов сброса 6—10 В.

Пересчетная декада представляет собой четыре последовательно соединенных триггера. Запускающий импульс поступает только в цепь базы открытого транзистора, так как диод в цепи базы закрытого транзистора закрыт большим отрицательным напряжением коллектора.

Резисторы, через которые подается напряжение на пусковые диоды, вместе с конденсаторами емкостью 510 пФ образуют дифференцирующие цепи. Продифференцированные входные импульсы проходят через открытый диод и перебрасывают триггер. Резисторы дифференцирующих цепей и диоды образуют нелинейные связи, ограничивающие токи, протекающие через транзисторы.

Триггеры декады запускаются положительными импульсами. Последующий триггер перебрасывается, как только предыдущий перейдет из состояния 1 в 0. За состояние 1 принимается такое, при котором транзистор, с которого снимается выходной импульс, закрыт, т. е. на его коллекторе высокий отрицательный потенциал. На всех схемах триггеров это левый транзистор.

При поступлении восьмого входного импульса перебрасывается первый триггер, и с него подается сигнал на второй и третий триггеры. Под воздействием этого сигнала оба триггера устанавливаются в состояние 1. Девятый входной импульс устанавливает в состояние 1 первый триггер. Следовательно, после прихода девятого импульса все триггеры находятся в состоянии 1. Девятый импульс возвращает в состояние 0 первый триггер. Второй триггер при этом не запускается, так как он зафиксирован в состоянии 1 сигналом потенциальной обратной связи. Но зато третий триггер также возвращается в состояние 0 под действием импульса, поступающего на его вход с выхода первого триггера. Выходной импульс третьего триггера переводит в состояние 0 четвертый. Положительный перепад напряжения на коллекторе выходного транзистора четвертого триггера, воздействуя на второй через цепь обратной связи, опрокидывает его в состояние 0.

После поступления на вход декады 10 импульсов все триггеры снова устанавливаются в состояние 0, а на выходе пересчетной декады появляется импульс.

Таблица 5

| Триггеры | Импульсы | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| I | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| II | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| III | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| IV | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |

Таблица 6

| Транзистор (по рис. 107) | $U_к$, В | | $U_б$, В | |
|---|---|---|---|---|
| | при сбросе | при счете 10 кГц | при сбросе | при счете 10 кГц |
| *T 2* | 0 | —4 | —0,25 | +0,75 |
| *T 3* | —11 | —5 | +1 | +0,75 |
| *T 6* | 0 | —8,5 | —0,25 | +0,85 |
| *T 7* | — 8,5 | —1,5 | +0,9 | +0,05 |
| *T10* | 0 | —3,2 | —0,25 | +0,35 |
| *T11* | —10 | —6 | +0,95 | +0,55 |
| *T14* | 0 | —3,8 | —0,25 | +0,3 |
| *T15* | —10,5 | —6,2 | +0,9 | +0,55 |

В табл. 5 показаны состояния триггеров при прохождении импульсов, а в табл. 6 — режимы транзисторов при сбросе и при скорости счета 10 кГц.

Дешифратор выполнен по видоизмененной схеме аналогичного блока пересчетной декады М3-13. Он представляет собой диодную матрицу, имеющую восемь входных и десять выходных шин, которые соединены между собой 30 диодами Д7Ж (Д220Б) в соответствии с кодом декады (см. табл. 5).

Выходы триггеров через работающие в режиме ключей транзисторы МП26А соединены с выходными шинами, а выходные шины, в свою очередь, соединяются цифровыми электродами индикаторной лампы ИН-1.

Восемь перепадов напряжения, поступающих на вход дешифратора, преобразуются в десять выходных сигналов. Один из них (60 В) отличается от девяти остальных (—2 В). Для зажигания цифр — электродов лампы ИН-1 необходимы два источника питания: +100 В и —60 В. Когда к промежутку «цифровой электрод — анод» приложено суммарное напряжение, зажигается соответствующая цифра. При отключении напряжения —60 В цифра гаснет.

Роль переключателей напряжений выполняют ключи-транзисторы. Чтобы светилась только одна нужная цифра, необходимо соединить ее шину с коллекторами закрытых ключей-транзисторов, а для гашения ненужных цифр их шины соединяются с открытыми ключами. Для правильного включения диодов составляются отдельные схемы дешифраторов для четных и нечетных цифр (с помощью табл. 5). Например, при свечении цифры «2» нужно погасить «0», «4», «6», «8». Эту задачу выполняют диоды:

Рис. 108. Табло

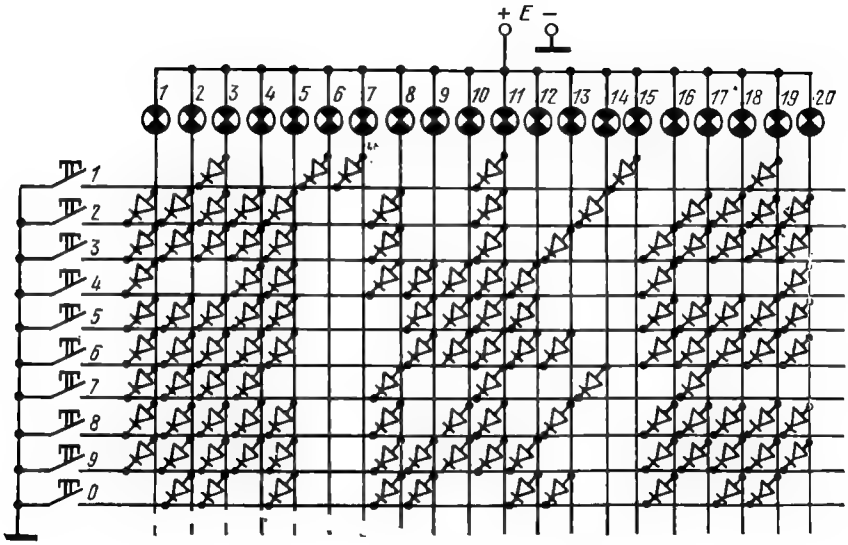
*Д15* гасит «0», *Д26* — «4», *Д38* — «6», *Д40* — «8». При свечении цифры «9» *Д14* гасит «1», *Д22* — «3», *Д35* — «5», *Д24* — «7».

В качестве индикаторов пересчетных декад применяют самые различные цифровые индикаторы: газоразрядные цифровые лампы (типа ИН-1, ИН-2), обычные газоразрядные лампы, проекционные, люминесцентные индикаторы, электронно-лучевые трубки.

После подключения источников питания и проверки режимов на вход декады подают прямоугольные импульсы частотой 10 кГц. При подаче на вход декады импульсов с частотой следования 0,5—1Гц должны последовательно высвечиваться цифры от 1 до 0. Если цифры не светятся или светятся одновременно несколько цифр, следует проверить параметры деталей в соответствии с указанными на схеме. Исправность транзисторов МП26А можно проверить следующим образом. Подавая на вход декады импульсы частотой 1 Гц, проверяют с помощью вольтметра перепады коллекторного напряжения транзисторов.

Можно обойтись без источника импульсов. Касаясь пинцетом баз транзисторов, поочередно опрокидывают триггеры. При этом на базах, а следовательно, и на коллекторах исправных ключей должны возникать перепады напряжений в соответствии с табл. 6 (в транзисторах МП16Б не менее 45 В). В случае неправильного деления частоты следует подобрать сопротивление резистора *R25* (несколько уменьшить).

*Дешифраторы.* Дешифратором называется автомат, который, получив на входы число в какой-либо системе счисления, на своих выходах демонстрирует его в другой системе счисления.




Р и с. 109. Соединение диодов

Введение в состав вычислительного устройства дешифраторов позволяет работать с такими устройствами на привычном нам языке десятичной системы счисления. Вводимые числа попадают в десятично-двоичный дешифратор, в котором они шифруются двоичными эквивалентами. Все действия выполняются над двоичными числами. Результат вводится в двоично-десятичный дешифратор, который вновь шифрует числа, переводит их с языка двоичной системы на язык десятичной.

При конструировании решающих устройств и выходных каскадов ЭВМ для наглядности можно установить световое табло, в котором с помощью диодной матрицы — устройства, сходного по своей структуре с дешифратором, результаты счета можно демонстрировать крупным планом. В световом табло цифры образуются загоранием различных комбинаций лампочек или тиратронов (например, МТХ-90). Подобные табло сейчас широко используются на стадионах для демонстрации спортивных результатов.

В конструкции можно применить световое табло из 20 лампочек накаливания. Как сделать табло и соединить диоды в матрице, понятно из рис. 108 и 109. В зависимости от мощности ламп накаливания следует выбирать по мощности и диоды от Д2Е до Д220 или даже Д7Ж или Д226. В качестве включающих устройств вместо показанных на рис. 109 кнопок можно использовать контакты электромагнитных реле.

## Автомат с памятью

Живые существа запоминают обстоятельства, в которых их настигла опасность. Кибернетическая «ворона» обнаруживает сходные обстоятельства и, вспоминая об опасности, не летит на «куст». Живая ворона боится не самой опасности, а того, что сопутствовало ей — куста, из-за которого в нее, возможно, стреляли. Оказывается, можно построить автомат, который вел бы себя так же, как ворона, и вырабатывал бы у себя условный рефлекс. Представим этот автомат в виде структурной схемы (рис. 110). Пусть вход *А* такой, что появление на нем сигнала 1 обязательно вызовет появление сигнала 1 на выходе *В*. Появление сигнала 1 на входе *Б* в обычных условиях не вызывает появления сигнала 1 на выходе *В*. Если же несколько раз на входы *А* и *Б* сигналы подаются одновременно, то после «тренировки» автомат начинает выдавать сигнал на выходе и при подаче сигнала только на один вход *Б*. Но такое поведение автомата временно — через несколько проб он перестает реагировать только на сигнал, полученный по входу *Б*. Чтобы вновь заставить его реагировать на сигнал, полученный по входу *Б*, следует опять тренировать автомат, подавая сигналы на

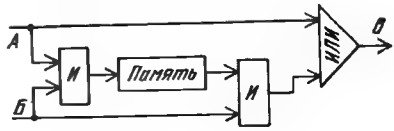



Рис. 110. Схема автомата

входы *А* и *Б* одновременно. В виде структурной схемы автомат задан. Как же составить его схему?

Уточним несколько условий:

а) пусть автомат будет таким, чтобы после четвертого совпадения сигналов на входах *А* и *Б* он начал бы реагировать уже только на сигнал, полученный по входу *Б*;

б) пусть продолжительность его нового поведения (реагирование на сигнал, полученный только по входу *Б*) равна трем тактам. Трижды сигнал по входу *Б* вызывает сигнал на выходе, а затем автомат «забывает», что появление сигнала *Б* — «важное обстоятельство», и вновь реагирует только на сигнал по входу *А*.

Итак, сигнал, поступивший по входу *А*, всегда вызовет сигнал на выходе *В*. Сигнал же, поступивший только по входу *Б*, вызовет «реакцию» (сигнал на выходе *В*) только при поддержке памяти. Память обязана запоминать совпадения сигналов *А* и *Б* и после нескольких из них сама должна выдавать сигнал.

Как же сконструировать устройство памяти? Приведем одно из многих решений. Представьте себе цепочку последовательно соединенных триггеров со счетным входом (рис. 111). Пусть все триггеры помнят и демонстрируют на своих внешних выходах сигнал 0. Подадим на вход триггера *Тг1* сигнал *1*, тогда он перейдет в новое состояние и будет демонстрировать 1. Второй сигнал, поданный на вход системы триггеров *С*, вновь перебросит триггер *Тг1* в новое состояние и по второму своему выходу он даст сигнал на вход триггера *Тг2*.

Триггеры после двух поданных подряд сигналов будут демонстрировать слово 010 (рис. 112).

После четырех подряд поданных сигналов состояние системы триггеров будет таким, как показано на рис. 113.

Сигнал на выходе триггера *Тг3* будет удерживаться три такта. В это время автомат и будет реагировать на сигнал, подаваемый на вход *Б* при отсутствии сигнала на входе *А*.

Вы видите схему автомата, который на четвертый раз «осознает», что вместе с опасностью «А» всегда присутствует «Б», и начинает опасаться «Б», но ненадолго — трижды он боится «Б» в отсут-

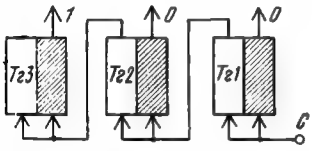



Рис. 111. Устройство памяти

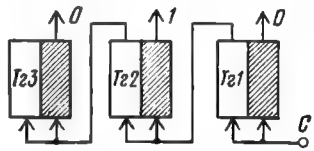



Рис. 112. Состояние триггеров, соответствующее слову 010

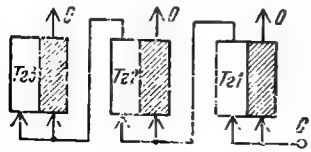



Рис. 113. Состояние системы после подачи четырех сигналов

ствие «А». Как и живые организмы, автоматы могут обладать различной памятью. Другой автомат мог бы дольше учиться и дольше помнить то, чему научился. Приобретение автоматом памяти превращает его в устройство, не сравнимое ни с каким другим, ранее созданным человеком. Автомату с памятью можно поручать самые сложные виды «умственной» работы. Они умеют переводить с одного языка на другой, управляют производством. Самыми интересными автоматами с памятью являются цифровые вычислительные машины с программным управлением.

# НА ПУТИ К СОЗДАНИЮ ИСКУССТВЕННОГО РАЗУМА (МОДЕЛИ ПЕРЦЕПТРОНОВ)

## Принятие решений — важнейший этап процесса разумных действий

Итак, начало положено! Электронные вычислительные машины могут воспроизводить некоторые функции нервной системы человека. Один из создателей теории автоматического управления Уильям Эшби по этому поводу сказал: «Мы знаем, что мозг и вычислительные машины представляют собой просто различные варианты в принципе одинаковых машин». Просто, но не совсем! Еще очень многое из того, на что способен мозг человека, не под силу воспроизвести самым совершенным ЭВМ. Примером может служить распознавание различных предметов, шрифтов, речи, т. е. то, что сейчас именуют распознаванием образов.

В разумных действиях этот процесс является только ступенью общего процесса принятия разумного решения, который на основе отбора данных, распознавания образов является важнейшим завершающим этапом деятельности мозга.

На рис. 114 схематически изображен процесс принятия решения. Первый шаг в любом процессе принятия решения — это выделение необходимой информации из всей массы доступной информации. Факторы, влияющие на выбор, зависят от конечной цели. Когда необходимые аспекты информации выделены, их нужно организовать. Это задача органа распознавания образов. В этом процессе ведущая роль принадлежит памяти. Когда произведена оценка ситуации, можно сделать окончательный выбор. Он определяется не только предварительным анализом ситуации, но и рядом других критериев —

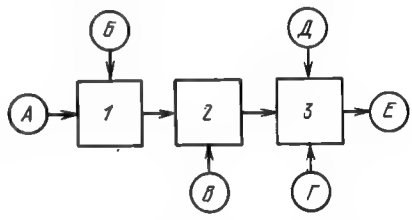



Рис. 114. Схема процесса принятия решения:

*1* — отбор информации; *2* — распознавание образов; *3* — оценка возможностей выборок; *А* — внешняя среда; *Б* — критерии цели; *В* — память, хранящая образы; *Г* — память, хранящая результаты прежних решений; *Д* — критерий выбора; *Е* — решение

готовностью рисковать, или желанием действовать, или желанием действовать наверняка, осторожностью или поисками наибольшего выигрыша при минимальных потерях. Таким образом, чтобы создать машину, способную принимать решения, недостаточно довести ее до фазы распознавания образов и анализа ситуации, а придется еще дойти до фазы окончательного выбора.

Розенблатт в 1957 г. предложил модель структуры мозга, основанную на том, что в каждом случае распознавания образа в мозгу происходит случайная организация сети по статистическому принципу с вероятностью распределения порогов, источников связей. Это происходит по-разному, в зависимости от предшествующей активности, опыта и параметров сети. Он назвал эту модель перцептроном (perceptio — восприятие). По утверждению Розенблатта, «перцептроны являются моделями с механизмом памяти, который позволяет обучаться реакциям на стимулы в экспериментах различных типов».

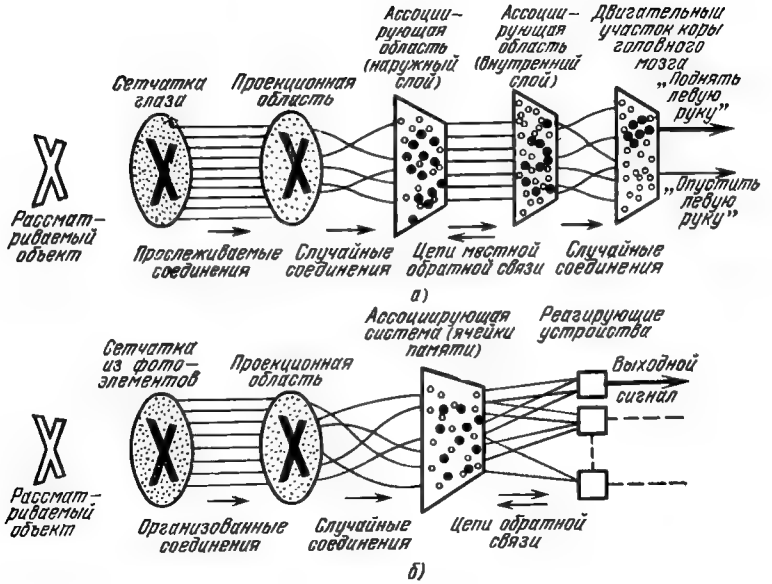
В каждом случае объектом анализа является экспериментальная система, включающая в себя перцептрон, определенную окружающую среду и процедуру обучения или внешнюю обучающую систему. Результаты такого анализа можно затем сопоставить с результатами сравнимых экспериментов над людьми и животными, что позволит установить функциональное соответствие модели или ее недостаточность. Перцептроны — не точная копия какой-либо конкретной нервной системы, они представляют собой упрощенные сети, созданные для изучения закономерных взаимосвязей между организацией нервной сети, структурой окружающей ее сети и «психологическими» свойствами, которыми может обладать данная сеть.

Главное преимущество такого подхода состоит в том, что он позволяет ставить содержательные вопросы относительно различных конкретных типов организации сети, механизмов памяти и нейронных моделей и находить на них ответы. Модель является не окончательным результатом исследования, а лишь отправной точкой для анализа ее поведения с помощью ЭВМ либо «механических моделей».

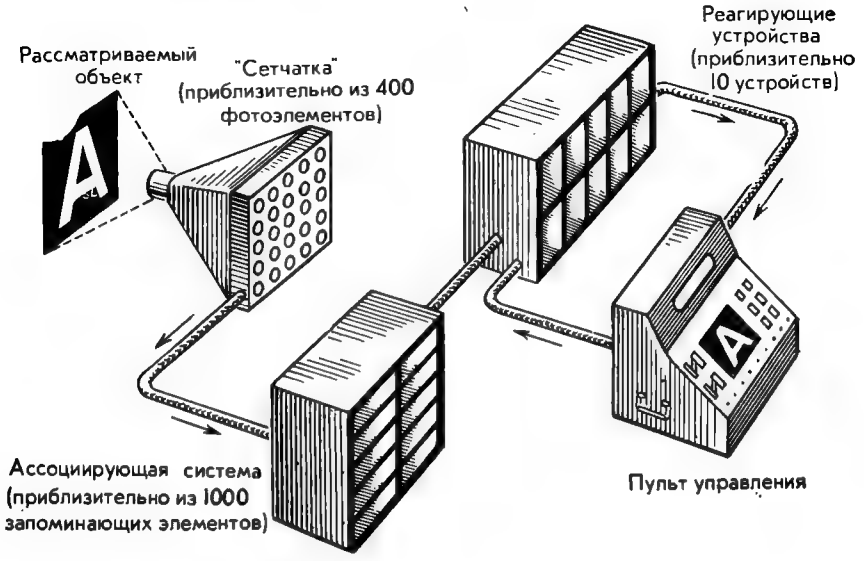
Конструируя машину, способную воспринимать явления действительности, ученые считали, что любой мыслящий организм делается способным понимать окружающую обстановку в процессе обучения и накопления опыта, а не получает это свойство по наследству. Поэтому все запоминающие ячейки перед включением и началом «обучения» машины были полностью нейтральными.

Используя эту теорию, удалось сконструировать модель электронной машины, которая способна классифицировать, воспринимать и символически изображать окружающие условия, а также учитывать совершенно новые и непредвиденные изменения в окружающей обстановке и делать это без вмешательства оператора.

На рис. 115 показаны процессы восприятия зрительных впечатлений человеком и перцептроном. Рис. 116 воспроизводит основные элементы перцептрона, участвующие в воспроизведении зрительных




Р и с. 115. Процесс восприятия зрительных впечатлений человеком (предположение) (*а*) и перцептроном (*б*)




Р и с. 116. Основные элементы перцептрона

образов. «Видеть» ему помогает линза, фокусирующая образ на «сетчатке», состоящей из 400 миниатюрных фотоэлементов. Каждый такой образ возбуждает ряд фотоэлементов, это возбуждение передается в ассоциирующие ячейки, общее количество которых достигает 512. След в «памяти» остается благодаря тому, что запоминающие элементы, направляющие сигнал на включение реагирующих устройств, могут его усиливать. Однако, сталкиваясь с новым впечатлением, машина, как и человек, может допускать ошибки. Но след в «памяти» постепенно закрепляется, и согласно теории вероятностей удается добиться того, что определенные возбуждения вызывают одну и ту же реакцию. Это означает, что машина приобрела определенное «понятие» об окружающих ее условиях. Практически оказывается необходимым сделать 15 попыток, после которых машина дает 100% правильных ответов.

Оператор может «научить» машину приходить к нужным заключениям. Этому способствует наличие обратной связи. От реагирующих устройств сигналы обратной связи поступают в запоминающие ячейки, которые вызвали их включение. Эти сигналы увеличивают «силу» запоминающих ячеек, служат как бы «вознаграждением» для той их группы, которая вызвала к действию реагирующие устройства. У перцептрона предусмотрено ручное управление для выработки нужных понятий. За правильный ответ он «вознаграждается» (усиливается эффективность действия соответствующих ячеек), за ошибку «наказывается» (снижается их эффективность). Следует отметить, что «научить» перцептрон математике так же трудно, как и человека. Поэтому ЭВМ в производительности счета имеет такое же преимущество перед перцептроном, как и перед человеком.

Чему же реально «научилась» простейшая модель новой машины? Без помощи человека она определяет расположение геометрических фигур справа и слева от ее «поля зрения». Она различает буквы алфавита. Предполагается, что перцептрон сможет распознавать человеческую речь и превращать ее в сигналы, управляющие, скажем, буквопечатанием. Машина способна переводить с одного языка на другой, подбирать литературу, просматривать патенты.

Представители военно-морского флота США заинтересовались перцептроном с 1000 запоминающих ячеек. Предполагается, что такая машина не превзойдет по размерам обычного стола. Правда, пока запоминающие ячейки очень сложны и дороги, поэтому главное внимание конструкторы уделяют разработке компактных, недорогих и надежных запоминающих ячеек. В настоящее время второй образец перцептрона уже построен, он содержит в 20 раз больше элементов памяти и более сложную схему взаимосвязей, чем первая модель. Американские военные намерены этот усовершенствованный перцептрон уже в ближайшее время применить для автоматической расшифровки результатов воздушной разведки — аэрофотоснимков и опознавания на них целей.

Создатель перцептрона Розенблатт утверждал, что его детище не просто машина для распознавания образов, а модель мозга. Однако это утверждение встретило весьма среьезные возражения. Дело, прежде всего, в количественных ограничениях. Перцептрон моделирует, и пока весьма несовершенно, только функции зрительного анализатора человека. Число ассоциативных ячеек перцептрона, которое определяет его «умственные способности», в первой модели составляло всего 512. Оно столь ограничено, прежде всего, из-за трудностей технического порядка и, в частности, из-за чрезвычайной сложности монтажной схемы. В самом деле, от каждой из 400 рецепторных ячеек перцептрона отходит 40 выходных проводников, подключаемых в случайном порядке к 512 ассоциативным ячейкам, каждая из которых имеет от 10 до 100 выходов.

Между тем число нейронов в мозгу человека порядка 15 млрд., а самые большие из современных ЭВМ имеют только сотни тысяч переключающих элементов (которые Эшби приравнивал к нейронам). По ряду своих параметров мозг представляет собой настолько высокосовершенную «конструкцию», что, как полагают ученые, вряд ли удастся искусственно воспроизвести ее в течение ближайших 50 лет. Очень точно выразил эту мысль английский физик Дж. Томпсон: тот сложный инструмент, которым мы все обладаем, или, если хотите, каковым мы все являемся, с его 100 миллиардами рабочих деталей и бесчисленным множеством возможных связей, неизмеримо превосходит все то, что мы когда-либо, по-видимому, сумеем создать, и он так не похож на организованную материю, которую мы, физики, изучаем.

Идеи создания перцептронов — элементов искусственного разума — в наши дни привлекают внимание не только ученых. В определенной степени эта идея доступна молодым энтузиастам технического творчества и роботостроения.

Роботы должны стать разумными! Для них нужно создать системы распознавания образов и принятия решений. Они уже создаются не только учеными, но и юными техниками. Мы познакомимся с некоторыми конструкциями перцептронов, которые могут изготовить и затем усовершенствовать энтузиасты технического творчества и роботостроения.

Создать классическую структуру перцептрона в любительских конструкциях нелегко. Особенно сложно сделать его систему обучения. Для решения отдельных частных задач распознавания алгоритм действий перцептрона закладывают в конструкцию заранее, не включая в систему обучения. Такие конструкции, пожалуй, не следовало бы называть перцептронами в полном смысле этого слова, но начинающим разработчикам такое отступление, пожалуй, можно простить.

## Почтовый перцептрон

«Почтовое учреждение в Эдинбурге, господину Виллару Лау, ювелиру, в собственные руки, недалеко от Парламента, вниз по ярмарочной лестнице, против Акциза», — вот как выглядел адрес

во второй половине XVIII столетия. Чтобы доставить письмо по назначению, почтальону приходилось выполнять функции адресного стола. Впрочем, писем тогда писали не так уж много.

Сейчас только в нашей стране ежегодно отправляется около 9 млрд. писем. И на каждом почтовом конверте указан точный адрес: область, город, улица, номер дома, квартиры, фамилия адресата. Нетрудно представить, какого большого числа квалифицированных сортировщиков требует столь огромный объем корреспонденции (пусть и точно адресованной).

Процесс сортировки писем значительно упрощается с введением цифровой шестизначной индексации. Согласитесь, что прочитать шестизначное число, написанное стандартными цифрами, намного легче, чем сам адрес. В соответствии с цифровой системой адресов вся территория Советского Союза условно разбита на отдельные участки. Каждый такой условный участок обозначается первыми тремя цифрами шестизначного индекса. Четвертая цифра индекса обозначает одну из десяти зон, входящих в участок; пятая — один из десяти секторов зоны; шестая — одно из десяти адресных предприятий связи, относящихся к данному сектору. Для написания цифр применяют специальную сетку, состоящую из девяти элементов (рис. 117).

Сетка заполняется цифрами, после чего адрес, закодированный шестизначным числом, может прочесть автомат-сортировщик писем.

Как это происходит? По сути, автомату вовсе не обязательно, чтобы начертания цифр имели привычный для нас вид. Главное, чтобы две любые цифры различались хотя бы одним элементом. Оказывается, что минимальное число элементов, с помощью которых можно составить 10 различных цифр, равно 4. Если мы выберем элементы под номером 2, 3, 7 и 4, то цифры будут иметь вид, как на рис. 118. Значит, опознавать цифры можно с помощью всего четырех фотоэлементов (рис. 119). Электронное опознающее устройство и является перцептроном.

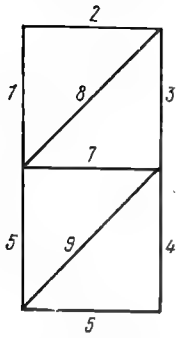


Рис. 117. Сетка для написания цифр

Принципиальная схема автомата, читающего цифры, дана на рис. 120. Чувствительные элементы — фоторезисторы *ФР1 — ФР4* — установлены в считывающей ячейке (см. рис. 119). На участке *2* (см. нумерацию рис. 117) расположен *ФР1*, на участке *3* — *ФР2*, на участке *4* — *ФР3*, на участке *7* — *ФР4*.

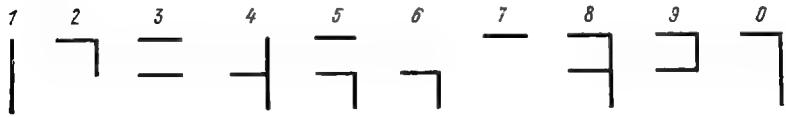


Рис. 118. Вид цифр

Последовательно с каждым фоторезистором включена обмотка соответствующего электромагнитного реле *Р1 — Р4*. При освещении фоторезистора его сопротивление уменьшается, ток, протекающий через него, увеличивается, в результате чего реле срабатывает. Контакты реле *Р1 — Р4* включены по схеме пирамидального дешифратора.

Наложим, к примеру, на ячейку цифру *3* индекса (цифры вырезают из жести или плотного картона). Тогда фоторезисторы *ФР1* и *ФР4* будут закрыты, а *ФР2* и *ФР3* — освещены. Реле *Р2* и *Р3* срабатывают, создавая такую комбинацию переключающих контактов, при которой загорается лампа *Л6*, подсвечивающая цифру 3. Аналогично автомат опознает и другие девять цифр.

В схеме устройства применены следующие детали: реле *Р1* и *Р2* — РЭС9 (паспорт РС4.524.201), реле *Р3* — РЭС22 (паспорт РФ4.500.131), реле *Р4* — РС-13 (паспорт РС4.523.07), фоторезисторы.

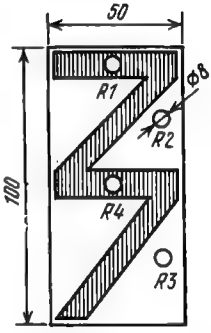



Рис. 119. Считывающая ячейка

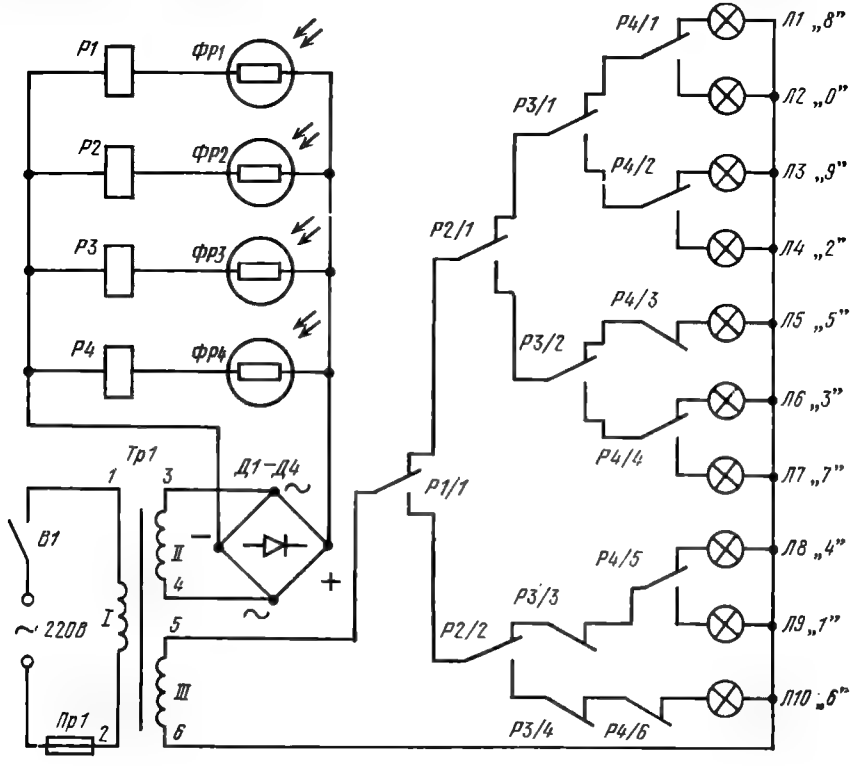



Рис. 120. Принципиальная схема читающего автомата

Трансформатор *Тр1* набирают из пластин Ш20 пакет толщиной 40 мм. Обмотка I содержит 1400 витков провода ПЭЛ-0,31, обмотка II — 450 витков ПЭЛ 0,15, обмотка III — 45 витков ПЭЛ-0,8. Диоды *Д1* — *Д4* типов Д226Б, Д7Е, Д7Ж.

Внешний вид прибора представлен на рис. 121. На лицевой панели корпуса расположена ячейка с фоторезисторами и индикаторное устройство — цифры (1—0), подсвечиваемые лампами *Л1* — *Л10*.

Описанная модель опознает цифры одного разряда почтового индекса. Увеличив число подобных устройств до шести, мы сможем добиться опознавания всех цифр индекса.

## „Марсианин"

В свердловском Доме пионеров построен перцептрон «Марисианин» (рис. 122), распознающий восемь различных образов. Его схема и конструкция приведены на рис. 123.

Из принципиальной схемы прибора видно, что каждый фоторезистор последовательно соединен с одним реле. Как только свет падает на какой-нибудь элемент, его сопротивление резко уменьшается и соответствующее реле срабатывает. На схеме все соединения показаны в отключенном состоянии. При подаче напряжения контакты реле притягиваются (движутся) слева направо.

Когда поле фоторезистора освещено, включаются все реле. Затем на поле накладывают контур опознаваемого образа. На принципиальной схеме дана таблица, показывающая, какие фоторезисторы затемняют контур, например «К» — 1, 3, 4, 5, 7, 9. Значит, реле *Р1, Р3, Р4, Р5, Р7, Р9* при этом отключаются. В результате зажигается лампа *Л6* и на экране возникает светящаяся буква «К»: перцептрон «узнал» ее.

Модель состоит из трех блоков: фоторезисторов — воспринимающая ячейка; реле — модель ассоциативных элементов; светоплан образов — устройство, выдающее информацию.

Корпус перцептрона выполнен в виде вытянутой полусферы из

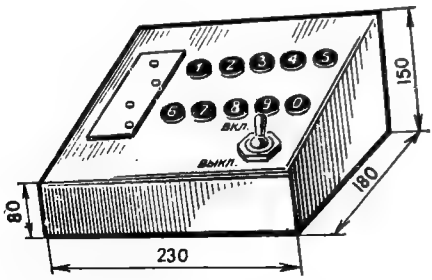
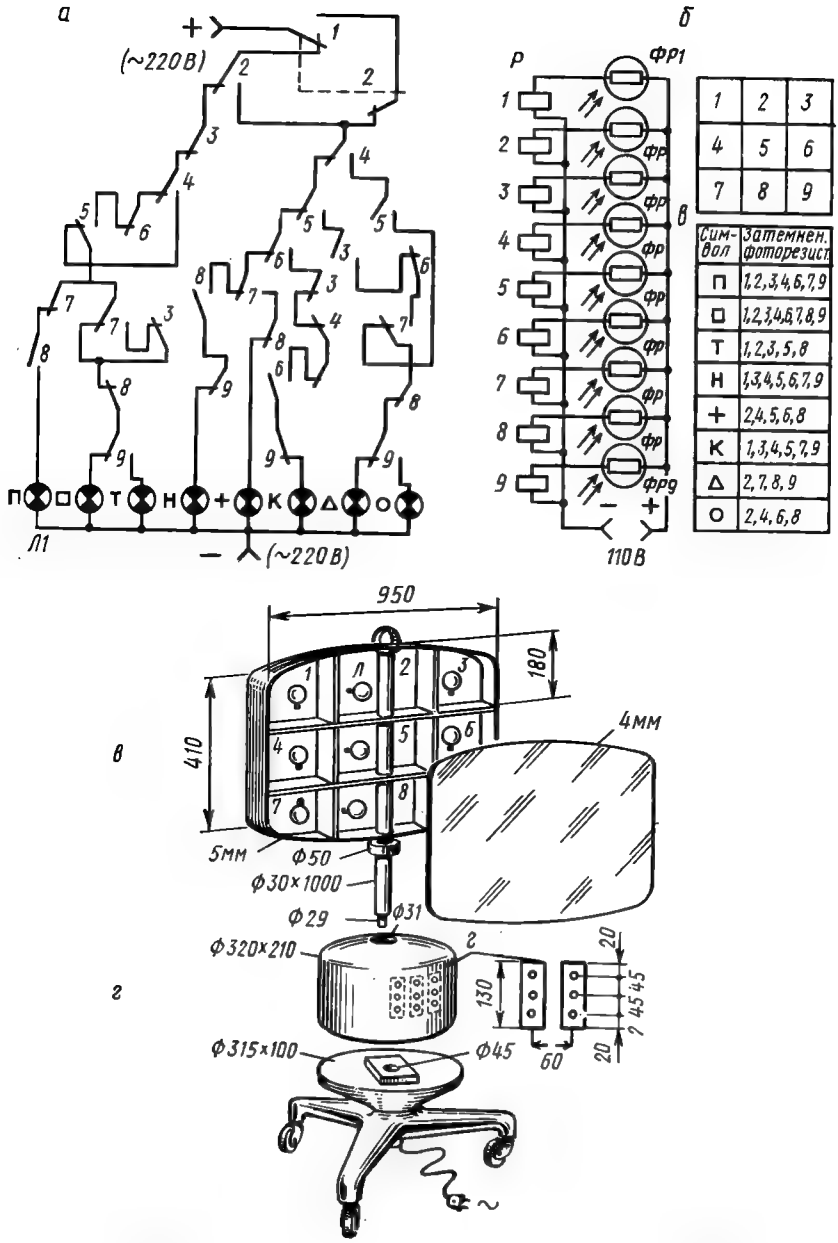



Рис. 121. Внешний вид перцептрона

Рис. 122. Перцептрон «Марсианин»




Р и с. 123. Принципиальная схема перцептрона «Марсианин»:

*а* — включение фоторезисторов; *б* — включение реле; *в* — конструкция светоэкрана; *г* — конструкция перцептрона и размещение блока фоторезисторов

листового алюминия, окрашенного светлой эмалью. Его можно сделать на токарном станке с помощью деревянной матрицы. Корпус крепится тремя винтами к треноге с колесиками. В полусфере размещены блоки фоторезисторов и реле, а также выпрямитель.

Фоторезисторы типа ФСК Г-2 установлены на алюминиевых платах размером 130×30 мм. Для крепления фоторезисторов используют ламповые панели типа ПЛК-8, которые монтируют многожильным проводом марки МГВ, МГВЛ, МГШВ сечением 0,35 мм². Когда окончен монтаж, плату с ламповыми панелями крепят к корпусу винтами М3, а затем размечают и сверлят отверстия в корпусе. Нужно следить за тем, чтобы они были намного больше, чем диаметр стекла фоторезистора, для того чтобы свет падал на весь элемент.

Блок реле смонтирован на круглой алюминиевой плате диаметром 315 мм. Все реле — типа РКН (паспорт РС3 259007), сопротивление обмотки 2000 Ом, провод ПЭЛ-0,1. Монтаж лучше делать одножильным проводом ПМВ сечением 0,2 мм².

На этой же плате установлены детали выпрямителя (трансформатор, дроссель, электролитические конденсаторы), который дает напряжение 110 В для питания блока реле. Выпрямитель собран по двухполупериодной схеме на диодах типа Д303, укрепленных на медных радиаторах. Площадь каждого радиатора 6 см². Сердечник трансформатора набирается из железа Ш25×25. В сетевой обмотке 1720 витков провода ПЭВ-0,32, во вторичной — 940 витков провода ПЭВ-0,5. Дроссель *Др1* намотан на железе Ш20×20 проводом ПЭЛ-0,3, количество витков — 300. Электролитические конденсаторы типа КЭ-2 40 мкФ × 450 В.

Светоплан образов (эффекторное устройство) сделан в виде овального экрана из органического стекла толщиной 4 мм. Боковые стенки — из 5-миллиметрового органического стекла. В светоплане применены лампы 110 В, 15 Вт.

# КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РОБОТОВ

## Простое и сложное решение

Роботы входят в нашу жизнь. Мы уже говорили о применении на производстве «интегральных роботов», об огромных масштабах научных исследований в области создания роботов для полетов в космос и на другие планеты Вселенной.

Очень многие схемы, описанные в книге, можно смонтировать в моделях самых разнообразных роботов (схемы «зрения», «слуха», «речи» и т. д.).

Модель простейшего человекоподобного робота с программным управлением показана на рис. 124. Высота робота около 70 см, и, хотя вид у него внушительный, он сделан из тонкого картона, по-

крыт металлической бумагой и покрашен серебристо-голубой краской.

В ступнях робота размещаются батарейки карманного фонаря, моторчики, перемещающие робота, и колеса с резиновыми шинками. Как сконструировать ноги робота, чтобы он шагал и был устойчивым, поясняет рис. 125. Программу действий робота придумайте сами.

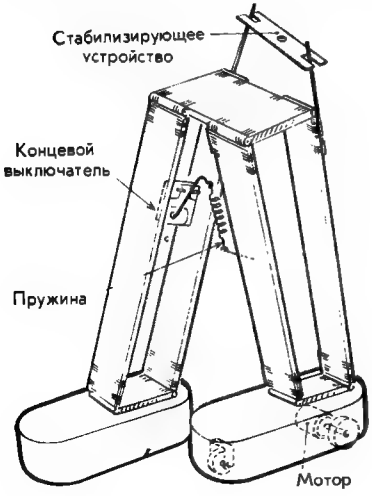
При конструировании больших роботов трудно сделать модель устойчивой. Поясним отдельные конструктивные решения в таком роботе на примере модели, сделанной щелковскими юными техниками.

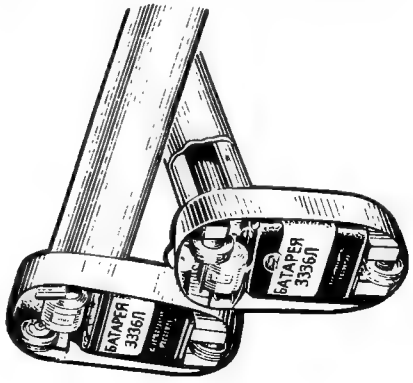
Рис. 124. Простейший робот

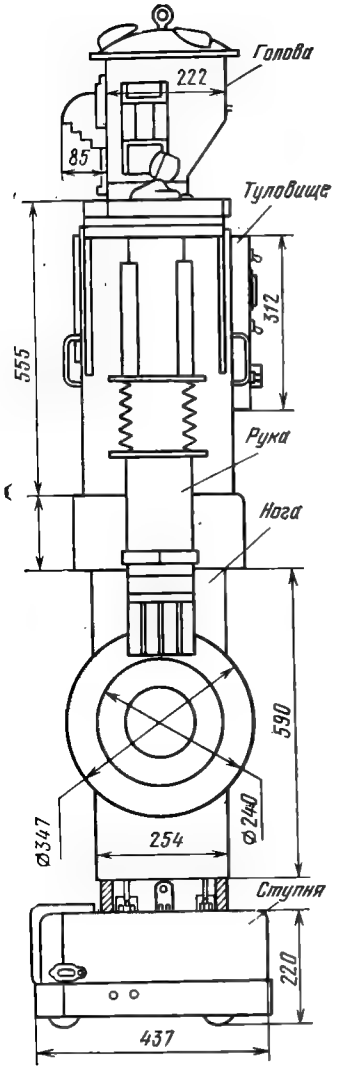
На рис. 126 дан чертеж этого робота в профиль и указаны основные размеры конструкции. Ступни ног робота сделаны очень большими, чтобы увеличить устойчивость модели.

Ноги робота (рис. 127) с верхней горизонтальной платформой свободно отсоединяются от туловища. В массивных ступнях модели находятся аккумуляторы, а за аккумуляторами в обеих ступнях — электромеханизмы, приводящие в движение задние колеса каждой ступни. Всего в каждой ступне имеется по три металлических колеса с жесткими резиновыми шинками. В средней части ноги проходят металлические тяги, благодаря которым достигается устойчивость модели во время движения. Свободное пространство в ногах заполняется различными блоками электрорадиооборудования модели, доступ к которым возможен через люки под коленными дисками робота. Туловище робота устанавливается на гори-

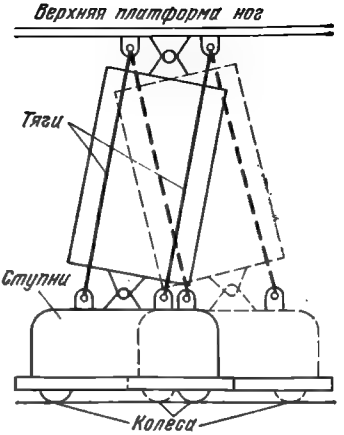
Рис. 125. Ноги робота



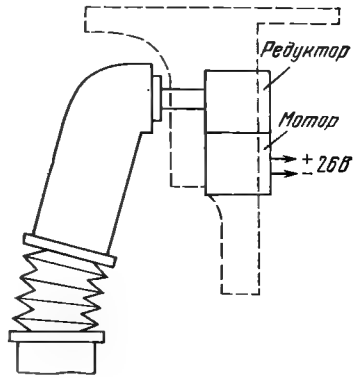





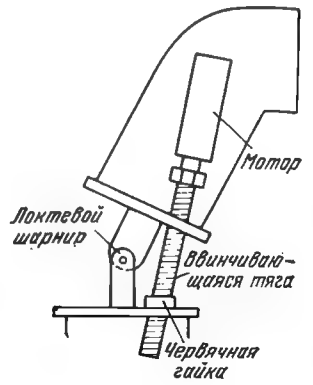

Р и с. 126. Чертеж робота




Р и с. 127. Ноги робота




Р и с. 128. Механизм подъема руки




Р и с. 129. Локтевой сустав

зонтальную платформу и крепится замками. На платформе находятся реле и электромеханические автоматы, управляющие мотором движения ног. При ходьбе ноги робота попеременно шагают, не отрываясь от пола (катятся по полу).

Такая конструкция ног позволяет роботу не только устойчиво ходить, но даже «плясать» под музыку.

Как осуществляется подъем рук робота с помощью мощного электромеханизма с редуктором, поясняет рис. 128. На рис. 129 показана конструкция локтевого сустава модели.

Когда робот берет в руку предметы, они прижимаются большим пальцем руки, поворачивающимся с помощью электромагнитного соленоида (рис. 130).

Голова робота также поворачивается с помощью электромотора с редуктором. Всюду в модели установлены концевые выключатели, ограничивающие пределы перемещения ног, рук и головы.

Мощности электромеханизмов, приводящих робот в движение, зависят от размеров разрабатываемой модели. Если робот небольшой, например высотой 50—60 см, и корпус его сделан из легкого материала (из клееного картона или тонкой фанеры), то он сможет шагать с помощью очень небольших электродвигателей с редукторами. Такие двигатели (типа ДП-10) используются для привода в движение моделей игрушечных автомашин-вездеходов. Для питания электродвигателей ДП-10 в модели достаточно установить две или четыре батарейки КБС-Л-0,5. Однако если робот имеет высоту более 1,5 м, то его корпус приходится делать из прочных материалов (например, алюминия, стали, стеклопластика). В этом случае в качестве приводных механизмов используют готовые электродвигатели с редукторами, применяющиеся для управления различными устройствами в современных автомобилях, самолетах и т. п. В ступнях ног робота установлены, например, так называемые рулевые машинки от старого автопилота. Для подъема рук можно использовать самолетные электромеханизмы управления триммерами, закрылками и т. п. Соленоиды, сжимающие пальцы рук, можно сделать самим.

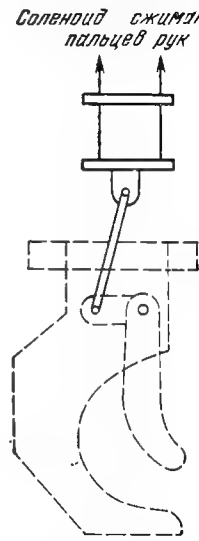


Рис. 130. Палец руки робота

Теперь рассмотрим конструкции нескольких отечественных роботов — участников Всесоюзных конкурсов роботов, проводимых журналом «Техника — молодежи», и модели, представленные на ВДНХ СССР.

Попытки создать самостоятельно механизмы движения робота, подъема его рук и сгибания рук в локтях потребуют от роботостроителя огромных затрат времени на конструирование редукторов к этим механизмам. Вряд ли стоит это делать, так как все необходимое для таких целей создано про-

мышленностью в виде компактных и надежных типовых электромеханизмов для различных видов техники.

## Роботенок РЭМ

«Здравствуйте! Меня зовут РЭМ. Я счастлив приветствовать вас в нашем павильоне «Профтехобразование» и передать привет от моих создателей — юных умельцев ПТУ № 9 города Каменск-Уральского...» — так он представлялся посетителям ВДНХ (рис. 131).

РЭМа трудно величать роботом, он скорее роботенок: небольшой, ладно сконструированный и красиво, даже элегантно отделанный. Его чистый и звонкий голосок мало кого оставляет равнодушным.

РЭМ используется в качестве экскурсовода на выставке и в процессе рассказа он (согласно программе) поворачивает голову в сторону соответствующего экспоната. Однако РЭМ — строгий гид: стоит кому-нибудь расшуметься, как он тут же замолкает, отыскивает «взглядом» нарушителя и вежливо произносит: «Извините, здесь шуметь нельзя». Порядок восстановлен — и он продолжает свой неторопливый рассказ. А секрет его поведения прост: в «ушах» робота микрофоны, как только уровень шума, например, справа, превышает пороговый, «оживает» реле правого микрофона. Сигнал с реле поступает в блок автоматики, который включает исполнительные механизмы. РЭМ не только «слышит», но и «видит»: поворачивает голову на источник света. «Зрение» устроено аналогично «слуху», с той разницей, что вместо микрофонов применяются фотодатчики.

Ходовая часть робота спроектирована довольно оригинально. Система шарнирно соединенных тяг и рычагов позволяет ему быстро передвигаться, вынося вперед попеременно ноги и руки. Четыре тяговых двигателя, вмонтированных в «ступни», вращают обтянутые резиной ролики. В результате резко снижается шум при «ходьбе». С помощью реверса двигателей РЭМ разворачивается на месте. Для поддержания равновесия в конструкции предусмотрен кулисный механизм, принимающий на себя все основные нагрузки и приводимый в движение двумя вспомогательными двигателями. Очень интересно устроены «ноги»: каркас — параллелограмм, способный изменять углы благодаря шарнирному соединению рычагов; верхним основанием служит «дно» туловища, нижним — ступня ноги.

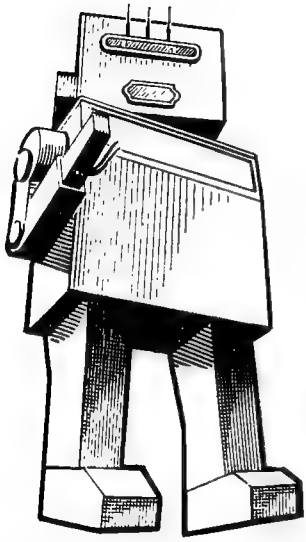


Рис. 131. Роботенок РЭМ

Однако механическая часть РЭМа всего лишь исполнительный орган. Уп-

равление сосредоточено в «мозговом центре», состоящем из реле времени, схемы памяти, блока переключения хода, поворота, остановки и запуска тяговых двигателей. Именно командами центра определяется «манера поведения» робота. Например, при движении вперед действует только блок переключения хода. Остальные приборы пока «не у дел». Но стоит лишь прикоснуться к одному из контактных датчиков, вмонтированных в носках «ботинок», как поступает сигнал на блок, он переключается и робот движется назад от препятствия. Через несколько секунд автоматика отключает задний ход и запускает тяговые двигатели на поворот. Еще две секунды, и РЭМ опять идет вперед.

Кстати, такая программа позволяет РЭМу «танцевать». Достаточно его поставить внутрь «заколдованного круга» — небольшого кольцевого барьера и записать на одной из дорожек магнитофона какую-либо музыку. Отступая от барьера и, чуть повернувшись, вновь наступая на него, размахивая в такт музыке руками, робот «танцует».

Кроме всего прочего, РЭМ «чувствует боль» и даже «легкое прикосновение». В первом случае срабатывает фотодатчик на левой руке: он реагирует на свет поднесенной к руке спички, по его сигналу срабатывает реле и робот жалуется: «Мне больно!» Во втором случае срабатывает контактный датчик, расположенный под кожухом. РЭМ предупреждает: «Меня трогать нельзя!»

Коротко расскажем о способах задания программы. Программа фиксируется на магнитофонной ленте заранее. Рассчитываются паузы, в нужных местах на ленту наклеивается фольга. На каждую из четырех дорожек магнитофонной панели записывается соответствующая музыка или текст. Достаточно нажать кнопку — и вся система приводится в действие. При необходимости программу нетрудно включить в точно заданное время (на груди робота имеются контактные часы).

## Расторопный БУКА

Расшифровывается БУКА так: блок универсальной квартирной автоматики. Он сконструирован и изготовлен в 1975 году инженером Смоленского машиностроительного завода И. Тормозовым.

Сфера деятельности робота (рис. 132) — командовать исполнительными устройствами, но в отличие от большинства своих собратьев он неподвижен.

Робот состоит из двух программируемых реле времени (электромеханическое для выдержек от 5 до 70 мин и от 20 до 270 мин и электронное — от 2 с до 1 мин), которые управляют работой различной бытовой аппаратуры: приемника, телевизора, магнитофона, электроплитки, стиральной машины и т. п. Однако круг возможностей робота этим не ограничивается. Он прекрасно справляется с ролью автоматического секретаря (ведет телефонные переговоры, отвечает на звонки у входной двери) или даже учителя (обучает иностранному языку во сне по методу гипнопедии).

Задав программу, нетрудно настроить робота на определенный род деятельности. Для этого достаточно установить соответствующим образом головки реле в блоке автоматики и подключить коммутируемую аппаратуру. Несмотря на простоту замысла, БУКА устроен довольно сложно. Помимо реле в конструкцию входят переделанный магнитофон «Днепр-11» и «обойма» с исполнительным соленоидом, в которую устанавливается телефонный аппарат.

В магнитофоне две ленты. На одной записан текст ответа на телефонный звонок или на звонок у входной двери, на другой записывается речь абонента или посетителя.

Вот как действует «секретарь», «услышав» телефонный звонок. Сигнал с вибрационного датчика, укрепленного на корпусе аппарата, поступает в блок автоматики, который, выдержав паузу, необходимую для прогрева ламп магнитофона, включает соленоид, усилие с него передается на рычаг, поднимающий телефонную трубку. Тут же включается на воспроизведение магнитофон. Абоненту сообщается, что сейчас хозяева отсутствуют, но если он желает что-либо передать, то пусть говорит. «В нашем распоряжении 20 секунд, — раздается в трубке. — Внимание, запись!». Спустя треть минуты с ленты считывается последнее сообщение: «Все, что вы передали, я записал. До свидания!» После этого «секретарь» готов к приему нового сообщения. Точно так же поступает он, «услышав» звонок у двери (рис. 133,*а*).

Диалог с абонентом происходит с помощью динамика и микрофона, вмонтированных в «обойму» напротив микрофона и динамика трубки. Такая конструкция удобна тем, что не требует подсоединения к телефонной сети; если надобность в «секретаре» отпала, аппарат просто вынимается из «обоймы». А теперь о гипнопедии.

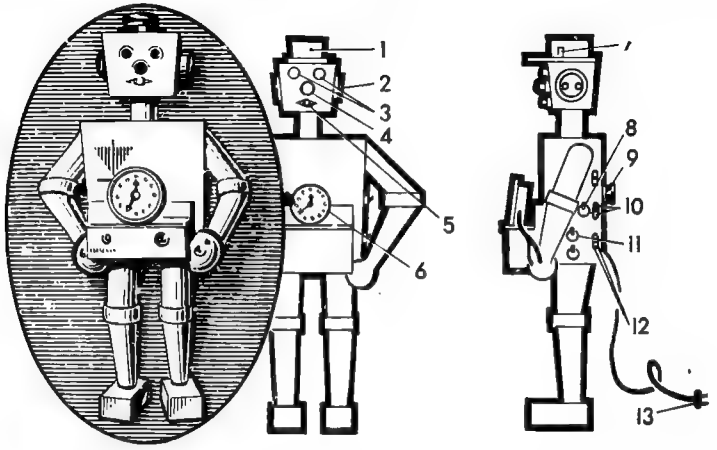


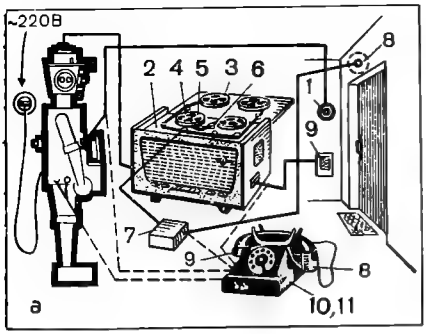

Рис. 132. Робот БУКА:

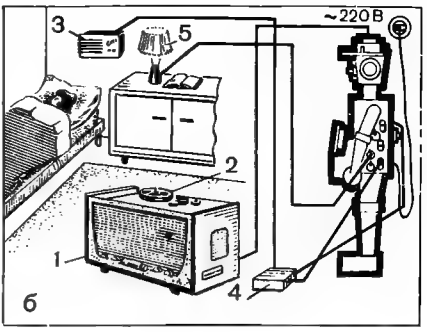
*1* — розетка 22 В; *2* — розетка транзитного включения; *3* — лампочки—глаза; *4* — предохранитель—нос; *5* — выключатель «сеть»—рот; *6* — будильник; *7* — кнопка «пуск»; *8* — выключатель блока питания; *9* — ручка установки малых выдержек; *10* — гнезда включения настольной лампы; *11* — переключатель реле времени; *12* — гнезда включения двигателей регулировки громкости; *13* — вилка включения в сеть

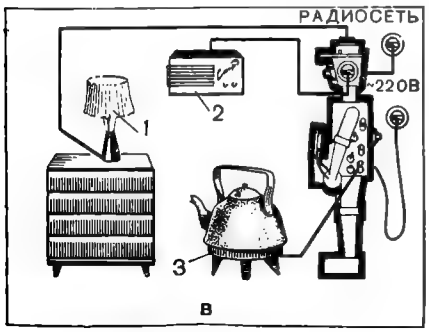
Читатель, вероятно, наслышан об этом необычном способе обучения во сне. Правильное применение гипнопедии накладывает довольно жесткие рамки на длительность урока и характер изменения громкости записанного голоса учителя. Сначала громкость звука должна постепенно нарастать, затем, достигнув определенного уровня, некоторое время оставаться постоянной и, наконец, уменьшаться. Причем уменьшаться по такому же закону, как и увеличивалась. Скорость изменения громкости и максимальный уровень сигнала строго ограничены. Так автоматика робота позволяет обеспечить точное соблюдение столь сложной программы (рис. 133, *б*).

Немного воображения, и нетрудно представить себе жизнь в квартире, которую обслуживает подобный робот (рис. 133,*в*).

...Раннее утро. Ваш сон еще крепок и глубок, но будильник неумолимо отсчитывает время. По его сигналу автоматика робота подсоединяет к сети электроплитку. Через несколько минут включается на полную мощность радио. Согласитесь, что проснуться от звуков радио гораздо приятнее, нежели от назойливого и резкого звонка! Вы встаете, умываетесь, делаете зарядку. К этому времени завтрак уже разогрет, и плитка автоматически отключена. Чтобы вы случайно чего-нибудь не забыли, «секретарь» напоминает о распорядке дня. Вечером, порядком уставший, вы возвращаетесь домой.




Р и с. 133. Функционирование робота:

*а* — подключение элементов для программы ответа на звонок у входной двери (она изображена снаружи) и телефонный звонок (пунктиром);

*1* — кнопка звонка; *2* — панель; *3* — кассета с записью ответа; *4* — считывающая головка; *5* — кассета для записи сообщения посетителя; *6* — записывающая головка; *7* — блок автоматики; *8* — динамик; *9* — микрофон; *10* и *11* — обойма и телефон;

*б* — подключение элементов по программе гипнопедии:

*1* — магнитофон «Днепр-11»; *2* — кассета; *3* — громкоговоритель; *4* — блок автоматики; *5* — настольная лампа;

*в* — подключение элементов для программы на утро:

*1* — настольная лампа; *2* — громкоговоритель; *3* — электроплитка

А еще нужно «провернуть» массу дел — почитать, подготовиться к завтрашней лекции и т. д. Тут-то БУКА и демонстрирует свои неоценимые качества. Прежде всего «секретарь» передает все, что хотели сказать ваши друзья. А это весьма важно, ведь иной телефонный звонок способен в корне изменить все наши планы. Если вы хотите послушать идущую «не вовремя» интересную радиопередачу, положитесь на робота: когда нужно, он включит приемник и магнитофон.

Широкое использование таких устройств, как БУКА, дело недалекого будущего.

## Калининградский электронный робот

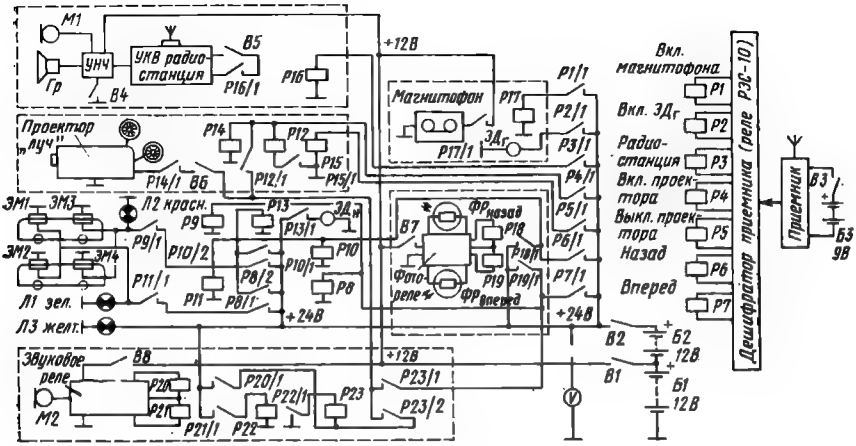
Робот, созданный в радиоконструкторском кружке Калининградской областной станции юных техников, движется вперед и назад, поочередно перемещая ноги и взмахивая руками, поворачивает голову налево и направо, как бы осматриваясь вокруг, демонстрирует на груди короткометражный кинофильм, снятый на 8-миллиметровую пленку, воспроизводит речь и музыку, записанные на ферромагнитной ленте, и даже «отвечает на вопросы». Кроме того, робот реагирует на свет: движется вперед и назад при освещении соответствующих фотодатчиков, останавливается, когда голосом подают команду «Стой», и снова продолжает двигаться при команде «Иди».

Все эти действия робот выполняет с помощью семикомандной аппаратуры радиоуправления, маломощной связной УКВ радиостанции типа 24Р1, фотореле, звукового реле, магнитофона, кинопроектора, электродвигателей и других устройств и механизмов, которыми он оснащен.

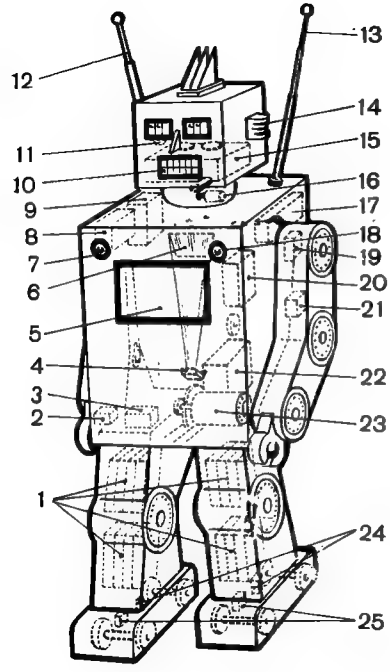
Взаимодействие узлов и механизмов робота показано на электрической функциональной схеме (рис. 134), размещение узлов и механизмов в роботе на рис. 135.

Сигналы команд, подаваемые роботу оператором, транслируются с помощью вынесенного УКВ передатчика, принимаются и усиливаются приемником, находящимся внутри автомата, и после преобразования поступают на дешифратор. Всего команд семь — по числу видов выполняемых роботом операций. Рассмотрим каждую из них отдельно.

При подаче команды «движение вперед» срабатывает реле *Р7* дешифратора и через его замкнувшиеся контакты *Р7* на обмотку реле *Р8* и *Р9* подается напряжение +24 В от батарей *Б1* и *Б2*. Контакты *Р8* замыкаются, и ток через нормально замкнутые контакты *Р11*/1 поступает на лампочки *Л1* («глаз» зеленого цвета) и электромагниты *ЭМ1* и *ЭМ2* храпового устройства хода вперед. Одновременно напряжение +24 В через контакты *Р8*/2 поступает на обмотку реле *Р13* (контактор К-50-Д), которое срабатывает и контактами *Р13*/1 включает питание электродвигателя движения ног $ЭД_н$ (типа 2ПП-40). Робот начинает двигаться вперед. По этой же команде срабатывает и реле *Р9*. При этом его контакты размы-




Р и с. 134. Электрическая схема калининградского робота




Р и с. 135. Размещение узлов и механизмов в калининградском роботе:

*1* — аккумуляторные батареи; *2* — фотореле; *3* — блок реле движения; *4* — призма; *5* — экран; *6* — зеркало; *7* — фоторезистор заднего хода; *8* — УНЧ радиостанции; *9* — УКВ радиостанции; *10* — громкоговоритель; *11* — микрофон радиостанции; *12* — антенна УКВ радиостанции; *13* — антенна приемника; *14* — микрофон звукового реле; *15* — магнитофон; *16* — электродвигатель с редуктором поворота головы; *17* — приемник; *18* — фоторезистор переднего хода; *19* — питание приемника; *20* — звуковое реле; *21* — блок реле проектора; *22* — проектор «Луч»; *23* — электродвигатель движения ног; *24* — электромагниты заднего хода; *25* — электромагниты переднего хода

каются, исключая тем самым возможность включения электромагнитов *ЭМ3* и *ЭМ4* на случай срабатывания команды «Движение назад».

При подаче команды «Движение назад» система работает, как и при команде «Движение вперед», с той лишь разницей, что в этом случае срабатывают соответственно реле *Р6*, *Р10* и *Р11*, электромагниты *ЭМ3* и *ЭМ4* заднего хода и загораются лампочки Л2 — («глаз» красного цвета).

По команде «Поворот головы» включается реле *Р2* и через его контакты *Р2*/1 на электродвигатель $ЭД_г$ этого механизма подается питание — голова поворачивается налево и направо.

Когда подается команда «Включение проектора», замыкаются контакты *Р4*/1 и реле *Р4*, срабатывает реле *Р12*, которое при этом самоблокируется контактами *Р12*/1, включается *Р14* (контактор К50-Д) и через его контакты *Р14*/1 осуществляется включение питания электродвигателя кинопроектора «Луч». Чтобы выключить его, нужно подать команду «Выключение проектора». В этом случае напряжение +24 В через контакты *Р5*/1 прикладывается к обмотке *Р15*, контакты которого разрывают цепь питания обмотки реле *Р12*. При этом обмотка контактора *Р14* обесточивается и электродвигатель проектора останавливается.

Аналогично включается магнитофон. По команде оператора срабатывает реле *Р1* дешифратора приемника, а через его контакты *Р1*/1 — реле *Р17*, включающее питание магнитофона. Магнитофон должен быть включен предварительно на воспроизведение. На магнитофонной ленте можно записать звуковое сопровождение кинофильма, краткие «речи» и «приветствия» робота.

Робот «слышит» своих собеседников через микрофон *М1*, с которого сигнал поступает на УНЧ и затем к УКВ радиостанции, включенной на передачу. Аналогичная станция, включенная на прием, находится у оператора. Чтобы ответить на вопросы, задаваемые роботу, оператор переключает свою станцию на передачу и при помощи передатчика радиоуправления переключает радиостанцию робота на прием. При этом поданный сигнал заставит сработать реле *Р3* дешифратора, а оно, в свою очередь, реле *Р16*, переводящее радиостанцию робота на прием — голос оператора будет слышен в громкоговорителе (*Гр*). Так осуществляется связь робот — оператор — робот.

Помимо команд, подаваемых по радио, робот подчиняется световым сигналам движения вперед и назад, для чего у него в плечах имеются фоторезисторы ($ФР_{вперед}$ и $ФР_{назад}$), фотореле с исполнительными электромагнитными реле *Р18* и *Р19* на выходе. А так как контакты *Р18*/1 и *Р19*/1 подключены параллельно контактам *Р6*/1 и *Р7*/1 реле дешифратора приемника, робот при освещении фоторезисторов движется так же, как при подаче команд «Движение вперед» и «Движение назад» по радио.

В общую систему управления движением робота подключаются и исполнительные реле *Р22* и *Р23* звукового реле. Если через *М2* подать команду «Иди», то сработает реле *Р20*, через его контакты

*P20*/1 на обмотку реле *P23* будет подано напряжение +24 В, при этом реле срабатывает и самоблокируется контактами *P23*/2. Одновременно через контакты *P23*/1 напряжение +24 В будет подано на реле *P8*, *P9* и робот пойдет вперед. Чтобы его остановить, надо подать команду «Стой». Теперь сработает реле *P21*, его контакты *P21*/1 замкнут цепь питания реле *P22*, которое при этом срабатывает, а его контакты *P22*/1, размыкаясь, обесточат обмотку реле *P23* — система приходит в исходное состояние.

Общее представление о конструкции робота дает рис. 135. Его основные узлы: голова с механизмом поворота, туловище с руками и ногами, подошвы ног и кулисный механизм с электродвигателем, приводящий в движение ноги и руки робота. Каркасы головы, туловища, рук и ног собраны из отрезков уголкового дюралюминия, которые затем обшиты листовым дюралюминием. Общая высота модели около 175 см.

Голова представляет собой правильный куб со сторонами 300 мм. На лицевой стороне укреплены глаза — прямоугольные жестяные коробки, разделенные на три отсека перегородками; в отсеки вмонтированы лампочки накаливания СМ-31 24 В/0,1 А. Баллоны лампочек окрашены в красный, зеленый и желтый цвета. Рот имитирует декоративная решетка, прикрывающая отверстие громкоговорителя типа 1ГД-28 усилителя связной УКВ радиостанции 24Р1. Уши — микрофоны МД-47 УКВ радиостанции и звукового реле. Внутри каркаса головы находится магнитофон «Комета-206». Вращается голова с помощью электродвигателя с редуктором от стеклоочистителя, применяемого в трамваях. Электродвигатель с редуктором укреплен снизу верхнего листа туловища. Сочленение оси редуктора с шайбой редуктора, установленной в голове робота, осуществлено при помощи шпонки.

Туловище имеет форму параллелепипеда размером 700×500×450 мм. Изнутри к нижней части переднего листа туловища приклепана дюралюминиевая планка толщиной 5 мм, на которой укреплен электродвигатель типа 2ПП-40 движения ног и рук, а также верхние стойки штанг ног. В нижней части туловища к боковым листам приклепаны накладки из дюралюминия, служащие для придания жесткости конструкции и крепления вкладышей с впрессованными в них шариковыми подшипниками для верхних осей ног робота. К этим же листам, но в верхней части туловища приклепаны отрезки уголкового дюралюминия для втулок с шариковыми подшипниками осей рук.

## АРС — робот для нашего дома

Калужский конструктор Б. Гришин создал АРСа — автоматического радиоэлектронного секретаря, пожалуй, самого сложного из самодельных роботов в Советском Союзе (рис. 136).

Обстоятельства в доме конструктора сложились так, что он был

вынужден создать АРСа. Когда он уходил на работу, больная мать оставалась одна в квартире и не могла отвечать на телефонные звонки, а иногда нужно было вызвать «Скорую помощь». Очень нужен был автомат, который смог бы проделывать не только это, но и многое другое. Так возникла идея постройки робота. Учитывая характер его главных функций, он был назван автоматическим радиоэлектронным секретарем — АРС.

По заданной программе робот включает и выключает освещение дома, поддерживает постоянную температуру в квартире, периодически проветривает ее. Он выполняет обязанности «пожарного сторожа», охраняет квартиру. Утром он будит хозяина и прочитывает ему урок гимнастики. Затем напоминает о распорядке дня — куда нужно поехать, что сделать, с кем поговорить. Словом, работы хватает. И все благодаря реле: реле времени, звуковому реле, фотореле, индукционному реле, термореле — всего пять датчиков. Сигналы от них попадают на приемное устройство, которое управляет исполнительными механизмами. На контактных дисках, собранных в пакете, набраны командно-управляющие сигналы. Меняя диски, можно изменять и поступки робота. Состоит он из автономных блоков. Так удобнее их настроить и отрегулировать.

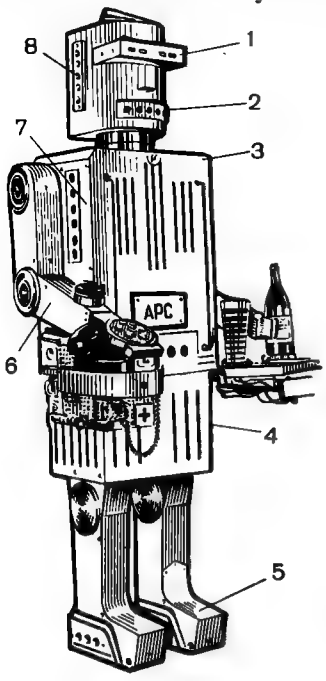



Рис. 136. АРС:

*1* — сигнальное устройство и фотореле; *2* — динамик; *3* — двигатель поворота головы; *4* — манипулятор; *5* — двигатели ног; *6* — двигатель и механизм поворота манипулятора; *7* — двигатель руки; *8* — электронное ухо (микрофоны, звуковое реле)

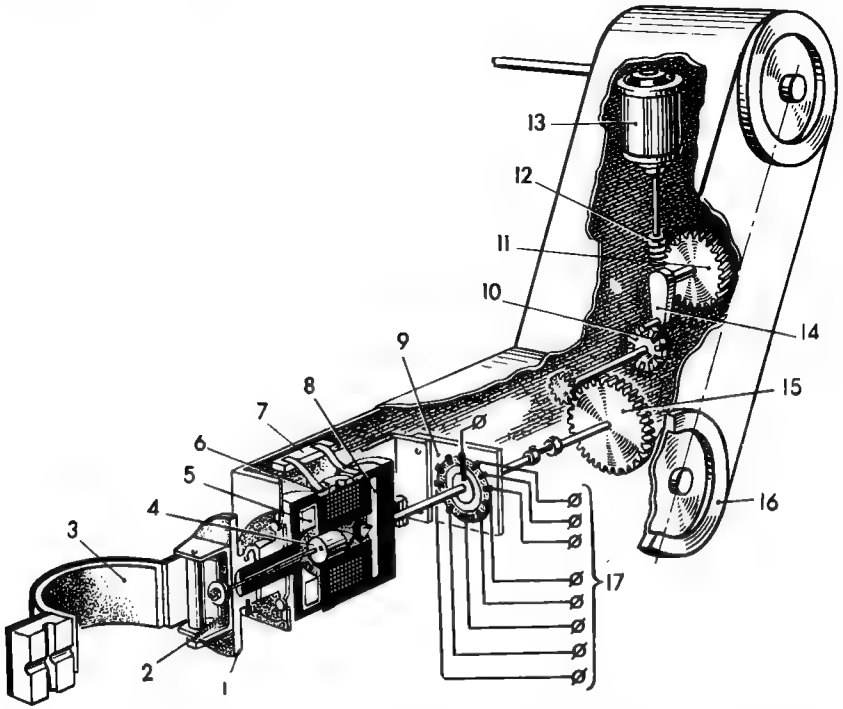
Внутри робота сложное сплетение проводов, красных и синих, напоминающих аорты и вены, куда вкраплены диоды, транзисторы, реле, резисторы, какие-то загадочные шары и цилиндры. На случай выхода из строя отдельных блоков или еще каких-либо неполадок предусмотрена схема защиты и блокировок. Питается АРС от сети через группу выпрямителей. Масса робота около 100 кг, высота 170 см.

Левая рука робота — его гордость (рис. 137). Она способна выполнять сложнейшие операции. Он может взять с подноса бутылку «Боржоми», аккуратно наполнить фужер и протянуть его гостю.

Правой рукой АРС поднимает телефонную трубку. Если хозяин дома, но занят, то просит немного подождать или перезвонить, а если хозяина нет, просит абонента говорить и записывает его речь на магнитофон. Происходит это по принципу простого автоответчика. Телефонный звонок через звуковое реле подает сигнал. АРС поднимает трубку с рычага и включает магнитофон. В нем две ленты: одна обычная, шириной 6 мм, а другая — шириной

18 мм, замкнутая. Селекторное устройство выбирает на широкой ленте соответствующую, заранее сделанную запись ответа. После этого записывает в течение 2 мин. сообщение абонента на узкую ленту, и АРС опускает трубку на рычаг. Всего он может «запомнить» до 30 телефонных разговоров. Фотореле в паре с индукционным реле сигнализируют о появлении гостей, программное устройство включает блоки питания, электродвигатели, селектор, который снова выбирает запись на магнитофоне.

Когда нужно записать какую-нибудь радиопередачу, АРС пользуется обыкновенным будильником. В определенное время он замыкает контакты, подает сигнал и АРС включает магнитофон. Он постоянно регулирует температуру в комнате. С помощью термодатчика, установленного на батарее отопления, программное устройство приказывает исполнительным механизмам, и робот меняет угол поворота крана отопления в ту или иную сторону. А фотореле дает знать, когда нужно включить или выключить освещение. Хозяин хочет научить АРСа набирать номер по телефону. Тогда он сможет самостоятельно позвонить любому абоненту и передать ему любое сообщение. Особенно это пригодится, если вдруг произойдет нес-




Р и с. 137. Левая рука АРСа:

*1* — головка; *2* — возвратная пружина; *3* — захват; *4* — плунжер соленоида; *5* — дистанционное кольцо; *6* — контактные кольца; *7* — контактные пружины; *8* — крышка; *9* — переключатель угла поворота; *10* — мальтийский крест; *11* — червячное колесо; *12* — червяк; *13* — мотор; *14* — рычаг; *15* — редуктор; *16* — гибкий вал; *17* — отводы контроля угла поворота кисти руки (8 отверстий)

частье, например пожар или утечка газа. АРС быстро вызовет аварийную службу... Ну вот, кажется, все. Дюралюминиевый помощник сделан не ради спортивного интереса. Мы привыкли к тому, что на заводах успешно работают автоматические системы. Так почему же не применить автоматы в нашей повседневной жизни? Сколько времени у людей освободится от домашних забот! И кто знает, может быть, эти заботы лягут на «плечи» именно таких устройств, как АРС.

Как видите, вариантов роботов может быть очень много. В каждой модели есть что-то свое, оригинальное. Возможности роботостроения и в малых и больших конструкциях беспредельны. Желаем нашим читателям новых успехов и больших творческих удач!

## Список литературы


1. **Беркли Э.** Символическая логика и разумные машины. — М.: ИЛ, 1961.
2. **Богомолов Е.** Транзисторные радиоприемники. — Приложение к журналу «Юный техник», 1970, вып. 1.
3. **Борисов В.** Акустическое реле. — Радио, 1973, № 6.
4. **Борисов В.** Фотореле. — Радио, 1973, № 4.
5. **Бруисема А. Х.** Практические схемы робота. — М.: Госэнергоиздат, 1962.
6. **Васильев В. А.** Радиолюбителю о транзисторах. — М.: ДОСААФ, 1967.
7. **Вознюк В.** Пингвин идет на свет. — Радио, 1973, № 6.
8. **Голеев Б. М.** Принципы конструирования цветомузыкальных устройств. — М.: Энергия, 1973.
9. **Игнатьев М. Б.** Алгоритмы управления роботами — манипуляторами. — Л.: Машиностроение, 1972.
10. **Касаткин В. Н.** Азбука кибернетики. — Молодая гвардия, 1968.
11. **Мацкевич В.** Как построить робот. — М.: Малыш, вып. 1: II, 1970.
12. **Мацкевич В.** Родословная Сепульки. — Моделист-конструктор, № 10, 1970.
13. **Мацкович В.** Слух. — Моделист-конструктор, № 2, 1971.
14. **Мацкевич В.** Голос. — Моделист-конструктор, № 4, 1974.
15. **Мацкевич В.** Шестое чувство. — Моделист-конструктор, № 6, 1971.
16. **Мацкевич В.** Внимание—опасность. — Моделист-конструктор, № 8, 1971.
17. **Мацкевич В.** Слушаю Вас! — Моделист-конструктор, № 10, 1971.
18. **Мацкевич В.** Электронное домино. — Моделист-конструктор, № 11, 1971.
19. **Мацкевич В.** Профессии мультивибратора. — Моделист-конструктор, № 12, 1971.
20. **Поздняк Г. Е.** — Интегральные роботы. — М.: Мир, 1973.
21. **Тычино К. К.** Пересчетные декады. — М.: Энергия, 1970.
22. **Фланаган Дж.** Анализ, синтез и восприятие речи. — М.: Связь, 1968.

# Предметный указатель


Автомат с памятью 131
— для поверхностной закалки деталей 16
Адаптивный и эвристический методы 18
Активные RC-фильтры 77
Акустическое реле 68, 83
Аналогии 39

Бионика 28, 62
— и зрение 88
Бионическая схема человека, печатающего под диктовку 64

Восприятие зрительных впечатлений человеком 135
Выпрямитель 93

Генераторы звуковых команд 75
Генераторы частоты 50
Глаз краба-мечехвоста 104

Двоичная система счисления 119
Детекторный приемник 93
— — с резонансными контурами 44
— — с усилителем низкой частоты 45

Дешифраторы 130
Диодов соединение 131
Допустимые уровни ускорений, температур и излучений для человека и автомата 34

Завод-автомат 21
Запись работы каменщика 80

Игрушка-робот Э. Беркли («белка») 112
Импульсные схемы (мультивибраторы) 47
Искусственная рука 29
— речь 52
Искусственный мозг 118
— разум 133

Кибернетика 28, 35
Коммутация микроэлементов экрана катодным лучом 91
Контурные диаграммы англ. слова «you» 54

Логические элементы 113
Логическое устройство из реле 107
— —, принцип действия 116

Модели с использованием логических устройств 114
— перцептрона 133
Моделирование 39
— зрения 89
— логических элементов 113
— логического поведения животных 111
— нервной системы 101
— памяти 118
— речи автоматов 55
— — животных 59
— слуха 62
Модель 30
— нейрона 106
— — Мак-Каллок — Питтса 107
Мотография 80
Мультивибратор низкочастотный 47, 57
Мультивибраторы 117

Нейроны 101
— как электрическая система 103
Нервные клетки 109
Нервных сетей варианты 110

Обратная связь 37
Обучающаяся машина «Кибертрон» 66

Передатчик с электронной модуляцией светового потока 27
Перцептрон 135, 137
— «Марсианин» 140
Пингвин, движущийся на свет 92
Почтовый перцептрон 137
Приемник с катушкой связи 45
— светолокатора 97
— с усилителем высокой и низкой частоты 46
Приемное устройство звуковых команд 76
Принятие решений 133
Проблема создания искусственного зрения 18
— «человек — машина» 44
Протез, управляемый биотоками 30

Радиолокация 47
Робот БУКА 148
— «Версатран» 14
— для дома АРС 154
— интегральный 17
— калининградский 150
— Луна 17—19
— для мегамира 24
— для обнаружения пламени 98
— РЭМ 146

—, функционирование 149
— человекоподобный 23
— на шагающей платформе 20
— «ЮНИМЕЙТ» 14
Распознавание речи 66
Роботы 3
— астронавты 25
— интеллектуальные 9
—, конструктивные особенности 142
— в космосе 19
— усилители механической мощности человека 22

Световой локатор 95
Синтезаторы речи 53
Система ROTA-FS-200—13
— управления с обратной связью 38
Слух человека 63
Спектр звука сирены 53
— — человеческой речи 53
Станки с числовым программным управлением 12
Стопоходящая машина Чебышева 31
Структура сетчатки глаза 90
Структурная схема устройства обнаружения пламени 98
— — электронной говорящей машины 54
Схема автоматической наводки орудия 37
— движения на свет 92
— зрения электронная 94
— лая собаки 59
— «мяуканье кошки» 59
— устройства обнаружения пламени 100
— черепахи, движущейся вдоль световой полосы 94
— читающего автомата 139
Счетная схема 121
Счетчик импульсов 127
Считывающая ячейка 139

Телефонный секретарь 80
Типы роботов и манипуляторов 26
Траекторные шагоходы 31
Триггеры 122
Триггерные счетчики 127

Усилитель с цепью обратной связи 48
Устройства памяти 132
— слуха 77
Устройство, вырабатывающее сигналы спутника 57
— подъема телефонной трубки 87

Фонетическая пишущая машинка 65
Фотодиод 91
Фотоэлементы 89
Фотореле 94
Фототранзистор 91
Функциональная логическая схема 116

Циклический станок-автомат 10

Черепашка У. Грея 111

Шагоход «Марс-1» 31

Электронная сирена 55
Электронное домино 40
Элементы ЭВМ 120

# Оглавление


Предисловие . . . . . 3
РОБОТЫ НАСТУПАЮТ . . . . . 5
Роботы — разумные машины . . . . . 5
Некоторые выводы . . . . . 25
БИОНИКА И КИБЕРНЕТИКА — ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РОБОТОСТРОЕНИЯ . 28
Бион — ячейка жизни . . . . . 28
Проблема «человек — машина» . . . . . 33
Кибернетика . . . . . 35
МОДЕЛИРОВАНИЕ — ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОСНОВА РОБОТОСТРОЕНИЯ . 39
Модель и моделирование . . . . . 39
Простейший детекторный приемник . . . . . 43
Детекторные приемники с резонансными контурами . . . . . 44
Детекторный приемник с усилителем низкой частоты (0-V-1) . . . 45
Приемник с усилителем высокой и низкой частоты (1-V-1) . . . 46
Простейшие импульсные схемы (мультивибраторы) . . . . . 47
МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЧИ . . . . . 52
Искусственная речь и связанные с ней проблемы . . . . . 52
Моделирование речи автоматов . . . . . 55
Моделирование «речи» животных . . . . . 59
Моделирование речи человека . . . . . 61
МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛУХА . . . . . 62
Бионика и слух . . . . . 62
Техническое моделирование систем слуха . . . . . 68
Чудеса активных *RC*-фильтров . . . . . 77
Тайна пляшущих человечков . . . . . 80
Вас слушает робот . . . . . 81
МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗРЕНИЯ . . . . . 88
Бионика и зрение . . . . . 88
Моделирование зрения . . . . . 89
Электронная система, обнаруживающая пламя горящей спички в любых условиях (в темноте и при ярком солнечном свете) . . . . 98
МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ (НЕЙРОНЫ И НЕЙРОННЫЕ СЕТИ) . 101
Нейроны . . . . . 101
Варианты взаимодействия нервных клеток . . . . . 109
Модели логического поведения животных . . . . . 111
Примеры моделирования логических элементов . . . . . 113
Простейшие модели с использованием логических устройств . . . 114
Структурная схема устройства . . . . . 114
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАМЯТИ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ . . . . . 118
На пути к созданию искусственного мозга . . . . . 118
Двоичная система счисления — идеальная система для ЭВМ . . . 119
Основные элементы ЭВМ . . . . . 120
Автомат с памятью . . . . . 131
НА ПУТИ К СОЗДАНИЮ ИСКУССТВЕННОГО РАЗУМА (МОДЕЛИ ПЕРЦЕПТРОНОВ) . . . . . 133
Принятие решений — важнейший этап процесса разумных действий 133
Почтовый перцептрон . . . . . 137
«Марсианин» . . . . . 140
КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РОБОТОВ . . . . . 142
Простое и сложное решение . . . . . 142
Роботенок РЭМ . . . . . 146
Расторопный БУКА . . . . . 147
Калининградский электронный робот . . . . . 150
АРС — робот для нашего дома . . . . . 153
Список литературы . . . . . 156
Предметный указатель . . . . . 157

**Мацкевич В. В.**

М11 Занимательная анатомия роботов. — М.: Сов. радио, 1980. — 160 с., ил.

35 к.

Рассказывается о состоянии исследований и разработок важнейших систем современных роботов. Показывается, как можно самим сделать различные системы роботов. Описываются методы моделирования и исследования радиоэлектронных систем.

Книга предназначена юным техникам, преподавателям школ.

М $\frac{30501\text{-}030}{046(01)\text{-}80}$ 62-80 1502000000

ББК 32.816
6Ф0.1

*Вадим Викторович Мацкевич*

ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ АНАТОМИЯ РОБОТОВ

Редактор издательства Н. Я. Гутчина
Редактор В. И. Казначеев
Художественный редактор Н. А. Игнатьев
Художник М. В. Буткевич
Технический редактор Г. З. Кузнецова
Корректор Н. М. Давыдова

ИБ № 257

Сдано в набор 3.09.79. Подписано в печать 13.02.80. Т-03895
Формат 60×90¹/₁₆. Бумага тип. № 1. Гарнитура литер. Печать высокая. Объем 10 усл. п. л. 11,06 уч.-изд. л. Тираж 40 000 экз. Зак. 1372. Цена 35 к.

Издательство «Советское радио», Москва, Главпочтамт, а/я 693

Московская типография № 4 Союзполиграфпрома
при Государственном Комитете СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
129041, Москва, Б. Переяславская ул., д. 46

35 к.